



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

**PROJETO DE RETROFIT DE AUTOMAÇÃO PARA UMA MÁQUINA
DE EMBUTIR SALSICHA**

Ismael Lenhart

Lajeado/RS, Dezembro de 2023



Ismael Lenhart

PROJETO DE RETROFIT DE AUTOMAÇÃO PARA UMA MÁQUINA DE EMBUTIR SALSICHA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Me. Henrique Worm.

Lajeado/RS, Dezembro de 2023

Ismael Lenhart

PROJETO DE RETROFIT DE AUTOMAÇÃO PARA UMA MÁQUINA DE EMBUTIR SALSICHA

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia de Controle e Automação, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia.

Prof. Me. Henrique Worm - Orientador

Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Anderson Antonio Giacomolli

Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Fábio Medeiros de Carvalho

Universidade do Vale do Taquari - Univates

Lajeado/RS, Dezembro de 2023

RESUMO

Este trabalho apresenta o projeto de *retrofit* da automação de uma máquina industrial de embutir salsicha em uma indústria de alimentos no Vale do Taquari, RS. O objetivo principal é modernizar a automação da máquina, envolvendo a instalação de novos equipamentos, programação de CLP, aplicação de uma IHM e validação do sistema por meio de simulações. A importância do projeto reside na melhoria da autonomia dos operadores, no diagnóstico eficaz de falhas e maior precisão nas tarefas. A metodologia inclui o estudo do funcionamento mecânico, elétrico e operacional da máquina, substituindo o sistema de automação atual por um novo, incorporando um CLP Micro850 da Allen-Bradley à IHM via Ethernet/IP. Além disso, prevê-se a substituição dos inversores de frequência, que serão do modelo PowerFlex 525 Allen-Bradley, também integrados por meio de Ethernet/IP, bem como a adição de novos componentes. Os testes de funcionalidade foram satisfatórios, permitindo que os operadores ajustem parâmetros de produção de forma autônoma, melhorando a operação da máquina e reduzindo a dependência de técnicos de manutenção.

Palavras-chave: *retrofit*; embutideira; CLP; IHM.

ABSTRACT

This work presents the automation retrofit project of an industrial sausage stuffing machine in a food industry in Vale do Taquari, RS. The main objective is to modernize machine automation, involving the installation of new equipment, PLC programming, application of an HMI and validation of the system through simulations. The importance of the project lies in improving operator autonomy, effective fault diagnosis and greater task precision. The methodology includes the study of the mechanical, electrical and operational functioning of the machine, replacing the current automation system with a new one, incorporating an Allen-Bradley Micro850 PLC into the HMI via Ethernet/IP. In addition, it is planned to replace the frequency inverters, which will be the Allen-Bradley PowerFlex 525 model, also integrated via Ethernet/IP, as well as the addition of new components. Functionality tests were satisfactory, allowing operators to adjust production parameters autonomously, improving machine operation and reducing dependence on maintenance technicians.

Keywords: retrofit; filling machine; CLP; IHM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura interna do sensor indutivo.	18
Figura 2 - Comportamento de um sensor indutivo.	18
Figura 3 - Sensor magnético.	19
Figura 4 - Pirâmide da automação.	20
Figura 5 - Bloco referente a um CLP.	21
Figura 6 - Exemplo de linguagem de programação LD.	22
Figura 7 - Exemplo IHM.	23
Figura 8 - Atuador pneumático.	24
Figura 9 - Válvula pneumática.	25
Figura 10 - Conexões pneumáticas.	26
Figura 11 - Partes internas de um motor de indução.	27
Figura 12 - Bloco de inversor de frequência.	29
Figura 13 - Diagrama elétrico detalhado do inversor de frequência.	30
Figura 14 - Embutidora de salsicha RT-6.	33
Figura 15 - CLP Zelio Logic.	35
Figura 16 - Equipamentos atuais da máquina.	38

Figura 17 - Sistema de automação proposto.	39
Figura 18 - Equipamentos para projetos.	42
Figura 19 - IHM PanelView 800 de tamanho 7”.	44
Figura 20 - Equipamentos para projetos.	45
Figura 21 - Fluxograma da lógica.	47
Figura 22 - Parte da lógica da etapa 1.	48
Figura 23 - Parte da lógica da etapa 2.	49
Figura 24 - Parte da lógica da etapa 3.	50
Figura 25 - Parte da lógica da etapa 4.	51
Figura 26 - Parte da lógica da etapa 5.	51
Figura 27 - Parte da lógica da etapa 6.	52
Figura 28 - Parte da lógica da etapa 7.	53
Figura 29 - Parte da lógica da etapa 8.	53
Figura 30 - Parte da lógica da etapa 9.	54
Figura 31 - Mapeamento das tags para a IHM.	55
Figura 32 - Tela inicial.	56
Figura 33 - Tela de operação.	57
Figura 34 - Equipamentos para projetos.	58
Figura 35 - Tela de falhas.	59
Figura 36 - Tela de acionamento manual.	60
Figura 37 - Tela de inversores de frequência.	61
Figura 38 - Tela de tempo de acionamento.	62
Figura 39 - Simulador.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Conexões válvulas pneumáticas.	28
Tabela 2 - Entradas digitais atuais.	38
Tabela 3 - Saídas digitais atuais.	39
Tabela 4 - Entradas digitais propostas.	44
Tabela 5 - Saídas digitais propostas.	45
Tabela 6 - Investimento previsto.	65

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CLP	Programmable Logic Controller - Controlador Lógico Programável
IHM	<i>Human Machine Interface</i> - Interface Homem Máquina
CA	<i>Alternating Current</i> - Corrente Alternada
DC	<i>Direct Current</i> - Corrente Direta
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> - Comissão Eletrotécnica Internacional
UCP	<i>Central Processing Unit</i> - Unidade Central de Processamento
EPROM	<i>Erasable programmable read-only memory</i> - Memória programável apagável somente de leitura
RAM	<i>Random Access Memory</i> - Memória de acesso randômico
PC	<i>Central Process</i> - Central de Processamento
IL	Instruction List - Lista de Instrução
ST	Structured Text - Texto Estruturado
LD	Ladder - Ladder
FBD	Function Block Diagram - Diagrama de Blocos de funções
SFC	Sequential function chart - Sequenciamento Gráfico de Funções

LCD	Liquid Crystal Display - Display de Cristal Líquido
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor - Transistor Bipolar de Porta Isolada
PID	Proportional Integral Derivative - Proporcional Integral Derivativo

SUMÁRIO

RESUMO	2
ABSTRACT	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	8
SUMÁRIO	10
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Tema e delimitação	15
1.2 Problema e questão de pesquisa	15
1.3 Hipótese	15
1.4 Objetivo geral	16
1.5 Objetivos específicos	16
1.6 Justificativa	16
2 REVISÃO TEÓRICA	17
2.1 Processo de produção e embutimento da salsicha.	17
2.2 Sensores	18
2.2.1 Sensores Indutivos	19
	10

2.2.2 Sensores Magnéticos	20
2.3 Controlador lógico programável	21
2.3.1 Linguagem de programação IEC 61131-1	23
2.4 Interface Homem-Máquina	27
2.5 Atuadores pneumáticos	28
2.5.1 Válvulas pneumáticas	29
2.6 Motores de indução CA	31
2.7 Inversor de frequência	33
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	37
3.1 Local de estudo	37
3.2 Funcionamento da máquina	38
3.3 Sistema de automação atual	40
3.4 Sistema de automação proposto	43
3.4.1 Acréscimo do motor da gancheira	44
3.4.2 Controle dos Motores	44
3.4.3 Sensores	45
3.4.4 Controlador Lógico Programável	45
3.4.5 Interface Homem Máquina	47
4 RESULTADOS	50
4.1 Cronograma de Projeto	50
4.2 Programação do CLP	51
4.3 Programação da IHM	59
4.3.1 Tela Inicial	59
4.3.2 Tela de Operação	60
4.3.3 Tela de Receitas	61
4.3.4 Tela de Falhas	62
4.3.5 Telas de Manutenção	63
	11

4.3.6 Tela de Tempos de Acionamento	65
4.4 Testes de software	66
4.5 Investimentos do projeto	67
5 CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

A produção de salsichas no Brasil tem ganhado destaque devido à mudança nos hábitos de consumo e ao aumento da demanda por produtos embutidos. Projeções indicam que as vendas de embutidos deverão crescer de 3,1 bilhões em 2021 para 3,5 bilhões até 2025, tendo as regiões Sul e Sudeste como o maior mercado consumidor de salsichas do país. Esse cenário ressalta a relevância da produção e oferta de salsichas para atender a demanda dos consumidores brasileiros (PARAIBAONLINE, 2021, texto digital).

Neste contexto de crescimento da demanda por salsicha, os gestores responsáveis pela manutenção em um ambiente industrial, têm o desafio de gerenciar a mão de obra disponível para melhorar os indicadores de produção e tempo de inatividade de máquinas. Para tanto, é essencial a busca de melhorias contínuas para aprimorar os processos.

Para tal fim, uma solução promissora é a utilização do *retrofit*, que consiste na revitalização de construções antigas. O retrofit é uma alternativa viável para empresas que desejam maximizar a eficiência de suas máquinas e equipamentos, sem a necessidade de adquirir novos ativos (WEG, 2020, texto digital).

Em virtude dos fatos mencionados, o presente trabalho aborda uma proposta de *retrofit* de uma máquina industrial, mais precisamente a embutidora de salsicha

de uma indústria de alimentos embutidos. O objetivo consiste em realizar uma melhoria tecnológica nesse equipamento, substituindo o controlador lógico programável existente por um equipamento mais moderno que se conecta a uma interface homem-máquina, além de atualizar drivers de controle dos motores e incrementar novos sensores para o perfeito funcionamento da máquina.

Esta implementação permitirá aos operadores ajustar parâmetros de produção de forma autônoma, substituindo os ajustes mecânicos e elétricos que hoje dependem da presença de um técnico de manutenção. Além disso, irá facilitar o diagnóstico de falha, aumentando a sua eficiência. O sistema proposto foi validado em bancada de testes, onde foi analisado o comportamento da lógica de controle como um todo, permitindo assim contemplar uma proposta viável de *retrofit* para a empresa.

1.1 Tema e delimitação

O presente trabalho tem como tema o projeto de um *retrofit* de automação de uma máquina industrial embutidora de salsicha, a qual passará por uma melhoria tecnológica através do emprego de equipamentos mais modernos. A embutidora é utilizada para embutir salsicha e está instalada em uma indústria do ramo alimentício localizada no Vale do Taquari/RS.

É importante destacar que este trabalho, apesar de abrangente, não se concentrará nas especificações de cada item do painel elétrico, nem no circuito de segurança da máquina, delimitando-se ao sistema de automação e controle da embutidora.

1.2 Problema e questão de pesquisa

Para gestores responsáveis pela manutenção em um ambiente industrial, um dos principais desafios consiste em gerenciar a mão de obra disponível para

melhorar os indicadores de tempo de inatividade de máquinas. Nesse contexto, surge a seguinte questão de pesquisa: como atualizar a máquina de embutir salsicha levando em consideração o desenvolvimento de melhorias operacionais e a eficiência da mesma?

1.3 Hipótese

A hipótese mais provável para o *retrofit* da máquina é a seguinte:

- O uso de tecnologias mais avançadas pode contribuir para uma maior autonomia dos operadores e melhor diagnóstico de falha da máquina, melhorando a eficiência e a precisão nas tarefas exigidas.

1.4 Objetivo geral

Projetar e validar em uma bancada de testes o *retrofit* da automação para uma máquina de embutir salsicha instalada em uma indústria do ramo alimentício que fica localizada no Vale do Taquari/RS.

1.5 Objetivos específicos

Os objetivos específicos relacionados para o *retrofit* da máquina são os seguintes:

- Realizar o comissionamento dos equipamentos que serão utilizados;
- Realizar a programação do CLP e interface homem máquina;
- Implementar uma lógica para proporcionar maior autonomia aos operadores da máquina;
- Validar o sistema em bancada.

1.6 Justificativa

O desenvolvimento deste *retrofit* irá implementar tecnologias que permitam aos operadores a autonomia para alterar os parâmetros necessários para a produção e *setup* da salsicha. Atualmente, esses parâmetros são realizados por meio de ajustes mecânicos e elétricos, sendo necessário que um manutentor acompanhe o início da produção.

2 REVISÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a revisão teórica dos principais assuntos inerentes ao desenvolvimento do sistema proposto, iniciando pelo processo de fabricação da

salsicha e seguindo pelos equipamentos que compõem a máquina que receberá o *retrofit*, bem como seus funcionamentos.

2.1 Processo de produção e embutimento da salsicha

O processo de produção de salsichas, conforme estabelecido na Instrução Normativa nº 66 de 2000 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil, inicia-se com a moagem da carne fresca, seguida pela combinação de ingredientes, como gordura, sal, temperos e emulsão. Essa mistura é então transformada em uma massa fina e homogênea que é preenchida nos invólucros, conhecidos como tripas. Após o processo de embutir a massa, as salsichas passam por etapas subsequentes, incluindo o cozimento, resfriamento e a retirada das tripas, sucessivamente. Em seguida, as salsichas são embaladas a vácuo, tornando-se prontas para comercialização.

Neste contexto da produção, a máquina embutidora de salsicha, objeto deste estudo, desempenha um papel essencial ao preencher o invólucro com a massa homogênea, garantindo, sobretudo, o peso característico para cada tamanho de produto. Além disso, a máquina deve garantir outros aspectos intrínsecos, como aplicar torção em intervalos regulares para criar os gomos individuais das salsichas e dispor previamente esses gomos nos ganchos posteriores ao enchimento.

2.2 Sensores

Segundo Fraden (2004) e Thomazini e Albuquerque (2007), os sensores são dispositivos responsáveis pela realimentação do sistema de controle em uma planta de automação. Fraden (2004) define o sensor como um dispositivo que recebe um estímulo ou sinal e o transforma em um sinal elétrico compatível com circuitos eletrônicos. Já Thomazini e Albuquerque (2007) explicam que o sinal de entrada pode ser de uma quantidade, um estado ou uma propriedade que o sensor

transforma em corrente ou tensão, podendo ser modificado e amplificado por circuitos eletrônicos que recebem o sinal.

Skoog et al. (2002) descrevem diferentes significados para os termos sensores e transdutores. De acordo com eles, um sensor é um transdutor embutido em uma fase de reconhecimento químicamente seletiva. No entanto, os termos sensores e transdutores serão tratados com o mesmo significado neste trabalho.

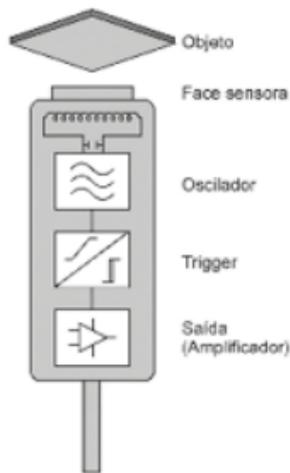
Franchi (2011) cita que os sensores digitais fornecem sinais que podem assumir somente dois valores, chamados de sinal alto ou baixo, interpretados como ligado e desligado.

2.2.1 Sensores Indutivos

Conforme Thomazini e Albuquerque (2020), os sensores de proximidade indutivos são dispositivos que usam um campo de frequência de rádio para detectar, sem contato, a presença de objetos metálicos. Eles possuem uma bobina que gera um campo eletromagnético de alta frequência, que é perturbado pela presença de um objeto metálico. Isso é detectado pelo circuito eletrônico do sensor, que inclui um circuito oscilador, um comparador de sinal e um chaveador.

As oscilações do circuito oscilador são reduzidas ou interrompidas quando um objeto metálico se aproxima da face do sensor. A informação é convertida em um sinal definido pelo comparador de sinal, sendo amplificado no estágio seguinte. O princípio de funcionamento é ilustrado em um diagrama de blocos na Figura 1 e o comportamento do oscilador em relação à distância ao objeto alvo é mostrado na Figura 2.

Figura 1 - Estrutura interna do sensor indutivo.



Fonte: Thomazini e Albuquerque (2020).

Figura 2 - Comportamento de um sensor indutivo.



Fonte: Thomazini e Albuquerque (2020).

Franchi (2011) acrescenta que a distância de detecção de um sensor indutivo de proximidade é diretamente proporcional ao diâmetro da bobina do sensor. Sensores com diâmetros pequenos, cerca de 1/4 de polegada, têm uma distância de detecção próxima de 1 mm, enquanto sensores com diâmetros maiores, cerca de 3 polegadas, têm uma distância de detecção de aproximadamente 50 mm ou mais.

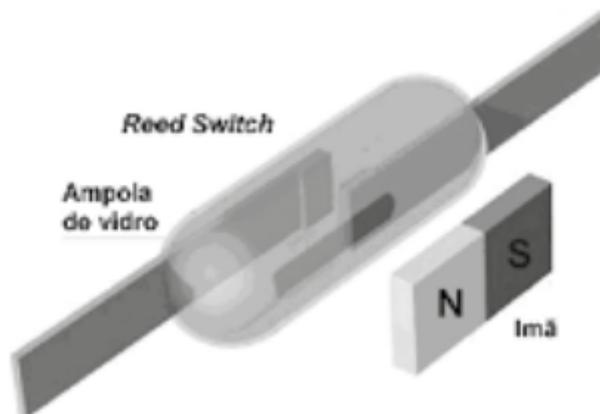
2.2.2 Sensores Magnéticos

Conforme Thomazini e Albuquerque (2007), os sensores magnéticos usam campos magnéticos para converter-se em sinal elétrico digital ou analógico. Eles podem ser eletrônicos, com efeito Hall, ou baseados em um interruptor.

Brito (2017) complementa que os sensores magnéticos usam um interruptor e um ímã permanente para detectar a presença do objeto e enviar um sinal para o sistema de controle. Esses sensores são fáceis de fabricar e podem ser parte do objeto ou do próprio dispositivo do sensor.

A Figura 3 ilustra o princípio de funcionamento de um sensor magnético.

Figura 3 - Sensor magnético.



Fonte: Thomazini e Albuquerque (2020).

2.3 Controlador lógico programável

Conforme Da Silva (2018), o CLP é um dispositivo de estado sólido que funciona como um computador industrial capaz de controlar processos e implementar funções em sistemas. Ele realiza operações lógicas e aritméticas, manipulação de dados e comunicação em rede. Localizado no segundo nível da pirâmide da automação industrial, ele é responsável pelo controle automatizado das atividades da planta.

Segundo Goeking (2010) pode-se colocar os níveis de pirâmide da automação da seguinte forma: Nível 5 representa o gerenciamento corporativo, nível 4 representa o gerenciamento da produção, nível 3 permite a supervisão do processo, nível 2 representa os controle dos equipamentos e o nível 1 representa todos dispositivos e componentes da planta. Na figura 4 podemos a arquitetura que compõe a automação industrial.

Figura 4 -Pirâmide da automação.



Fonte: Goeking (2010).

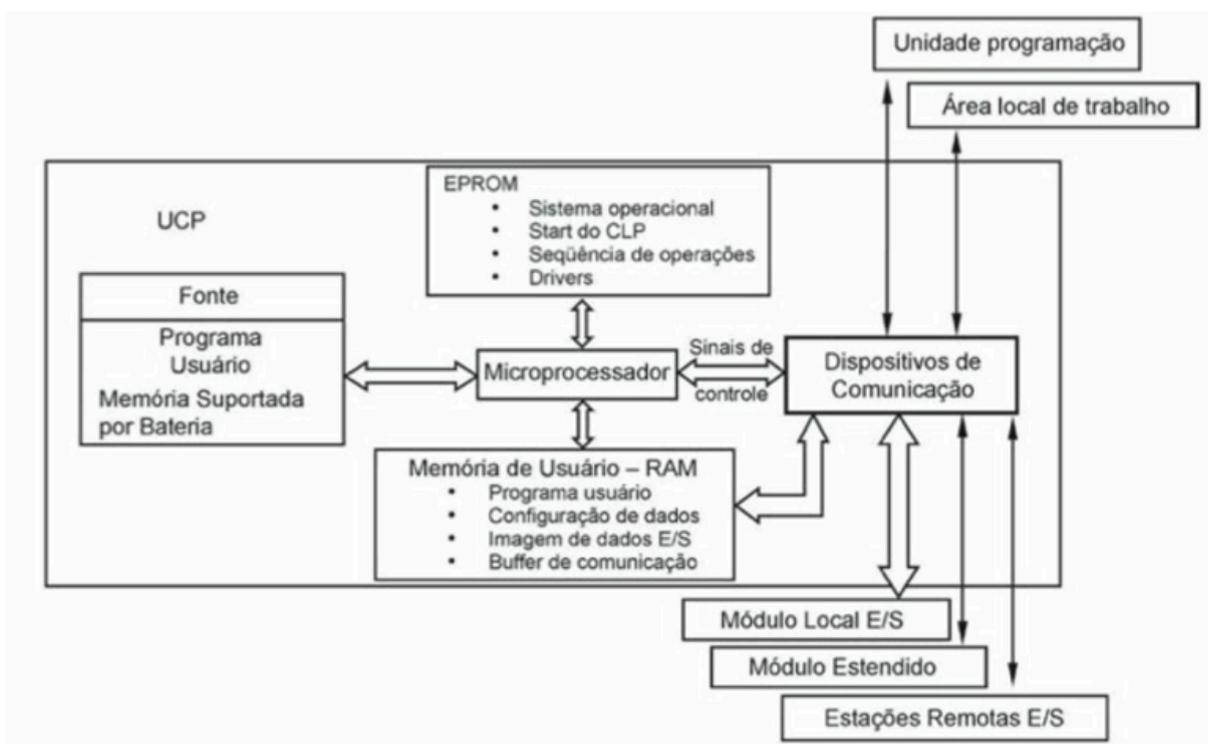
De acordo com a norma IEC 61131-1 (1992), um CLP é definido como um sistema eletrônico digital, desenvolvido para uso em ambiente industrial, que usa uma memória programável para armazenamento interno de instruções do usuário, para implementação de funções específicas, como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar, por meio de entradas e saídas, vários tipos de máquinas e processos.

Segundo Moraes (2010), a arquitetura básica do controlador lógico programável consiste nas seguintes partes:

- Fonte de alimentação: converte corrente alternada em contínua para alimentar o controlador e fontes externas ao controlador;
- Unidade central de processamento (UCP): responsável pela execução do programa do usuário e atualização da memória de dados;
- Memória EPROM: contém o programa monitor elaborado pelo fabricante que faz o startup do controlador;
- Memória RAM: armazena o aplicativo do usuário, a UCP processa esse programa e atualiza a memória de dados interna;
- Módulos de entrada e saída do controlador: uma espécie de barra de terminais físicos que, por vezes, podem ser expansivos. Internamente o circuito comuta os periféricos externos.
- Unidade de programação: um PC que serve como meio de comunicação entre o usuário e o controlador na fase de implementação do software aplicado.

A figura 5 ilustra um diagrama de blocos referente a um CLP.

Figura 5 - Bloco referente a um CLP.



Fonte: Moraes (2010).

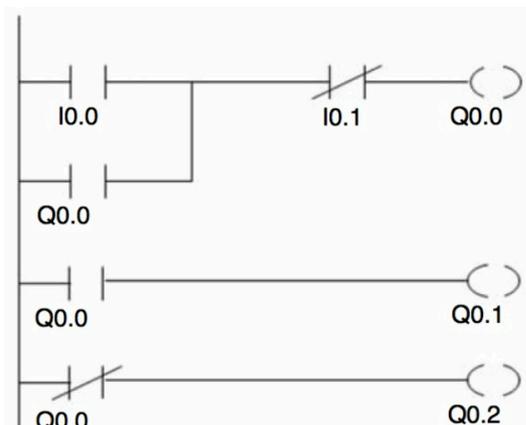
2.3.1 Linguagens de programação IEC 61131-1

A norma internacional IEC 61131, criada pela Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC - *International Electrotechnical Commission*), estabeleceu padrões para o projeto de controladores lógicos programáveis. Em sua terceira parte, essa norma aceitou um novo conjunto de linguagens de programação, representando o primeiro esforço global para padronizar a programação na área da automação industrial.

As linguagens padronizadas nesta norma são a lista de instruções, texto estruturado, diagrama de blocos de funções, sequenciamento gráfico de funções e linguagem Ladder, que será a linguagem de programação utilizada neste projeto.

A linguagem Ladder, conforme Lamb (2015) é uma representação gráfica de bobinas físicas e contatos derivada da época em que os relés eram usados para controlar os sistemas. Os elementos de programa são arranjados em linhas horizontais que simulam um circuito elétrico. Moraes (2010) ainda acrescenta que a linguagem de programação não considera a tensão envolvida nas barras de alimentação nem a intensidade da corrente. A figura 6 mostra um exemplo de programação com LD.

Figura 6 - Exemplo de linguagem de programação LD.



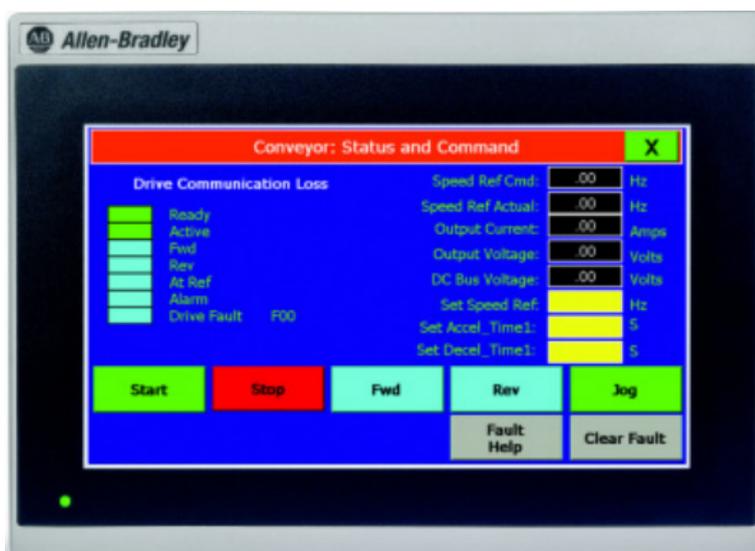
Fonte: Prudente (2011).

A norma IEC 61131-3 também define tipos de dados e variáveis, configurações dos CLP, unidade de organização de programas, recursos e tarefas.

2.4 Interface Homem-Máquina

De acordo com Lamb (2015), as interfaces homem-máquina (IHM) podem adotar diferentes formatos de exibição. Uma opção é utilizar texto, o qual é apresentado em displays LCD fluorescentes que possuem um tamanho de letra e espaçamento específicos. Outra alternativa é utilizar *displays* gráficos, que podem ser monocromáticos ou coloridos e possuem botões do tipo membrana e tela sensível ao toque. A figura 7 exemplifica uma interface de operação que utiliza um display gráfico colorido.

Figura 7 - Exemplo IHM.



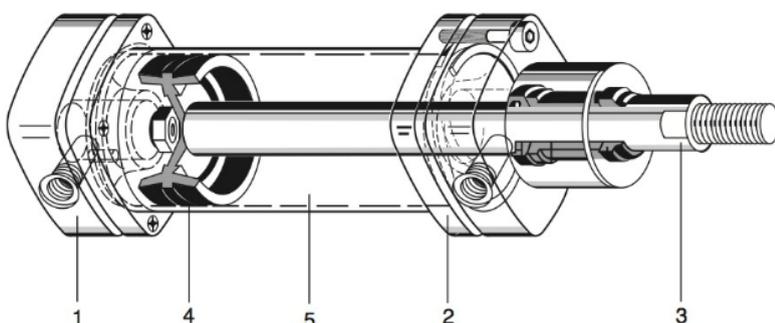
Fonte: Rockwell (2023).

2.5 Atuadores pneumáticos

De acordo com Prudente (2013), os atuadores pneumáticos são elementos de trabalho que constituem as partes terminais de um comando automático. Eles utilizam a energia potencial do ar comprimido para cumprir um trabalho e obter movimentos retos ou rotativos.

Lamb (2015) salienta que as especificações dos cilindros pneumáticos incluem o diâmetro e comprimento da haste, características de amortecimento para retardar a fase final do movimento, tamanho das conexões de alimentação e método de montagem. A figura 8 ilustra os elementos fundamentais de um atuador pneumático.

Figura 8 - Atuador pneumático.



Fonte: Prudente (2013).

Conforme apresentado na Figura 11, a tampa traseira (1) e a tampa frontal (2) fecham a câmara de ar e podem ser fixadas com parafusos, geralmente de alumínio. Na tampa traseira e na tampa frontal estão colocadas as entradas de conexão de alimentação ou exaustão. A câmara frontal (5) geralmente é constituída de uma câmara de aço soldado internamente para aumentar a duração da vedação.

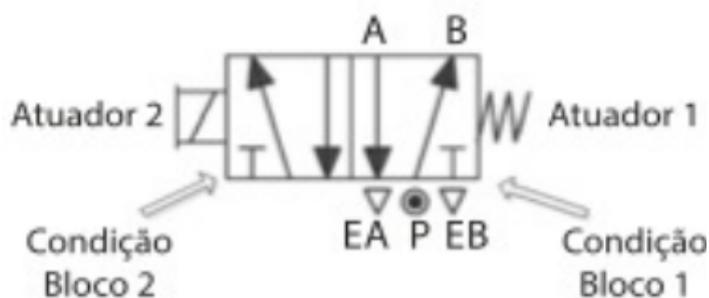
Sobre o pistão ou êmbolo (4) é instalada uma vedação em neoprene ou teflon para fechar hermeticamente a câmara frontal. Por fim, a haste (3) normalmente é em aço temperado.

2.5.1 Válvulas pneumáticas

Conforme Fialho (2019), as válvulas direcionais são todas as válvulas que, ao receberem um impulso pneumático, mecânico ou elétrico, permitem que haja fluxo de ar pressurizado para alimentar determinado elemento automatizado. Essas válvulas podem ser organizadas em diferentes formas, geralmente descritas pelo número de portas no corpo da válvula e pelo número de posições que a bobina deve ter.

A figura 9 ilustra os principais elementos de uma válvula pneumática

Figura 9 - Válvula pneumática.



Fonte: Lamb (2015).

Bonarcoso e Noll (2013) explicam que as vias das válvulas dividem-se em conexões de entrada de pressão, conexões de utilização e orifício de escape, cada qual com sua identificação, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Conexões válvulas pneumáticas.

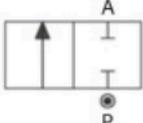
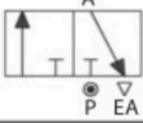
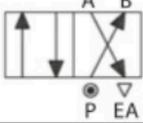
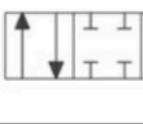
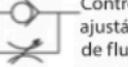
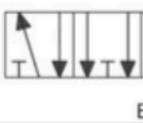
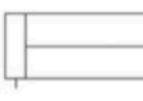
Vias	Letras	Número
Pressão	P	1
Utilização	A, B, C	2, 4, 6
Escape	R, S, T	3, 5, 7

Fonte: Bonacorso e Noll (2013).

Além disso, os autores definem que posições são os estados (condições) que a válvula pode ter, representadas por meio de quadrados na figura 16. As linhas dentro desses quadrados indicam as vias de passagem de ar comprimido e as setas indicam o sentido.

Por fim, o sistema de acionamento das válvulas é representado externamente por meio de atuadores, que podem ser mecânicos, pneumáticos, elétricos ou molas. Lamb (2015), na figura 10, apresenta alguns dos principais símbolos utilizados nos circuitos pneumáticos.

Figura 10 - Conexões pneumáticas.

 <p>2/2 Válvula</p>	 <p>Ativador solenoide</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Porta de pressão (fonte de ar) ▽ Porta de escape
 <p>3/2 Válvula</p>	 <p>Mola de retorno</p>	<ul style="list-style-type: none"> ┘ Porta fechada ↑ Sangria de ar
 <p>4/2 Válvula</p>	 <p>Solenoide por mola de retorno</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Válvula de verificação ✂ Válvula de agulha
 <p>4/3 Válvula</p>	 <p>Ativador de nível</p>	 <p>Controle ajustável de fluxo</p>
 <p>5/3 Válvula</p>	 <p>Pistão ativador</p>	 <p>Reservatório</p>
 <p>Cilindro de efeito duplo</p>	 <p>Cilindro de efeito simples</p>	

Fonte: Lamb (2015).

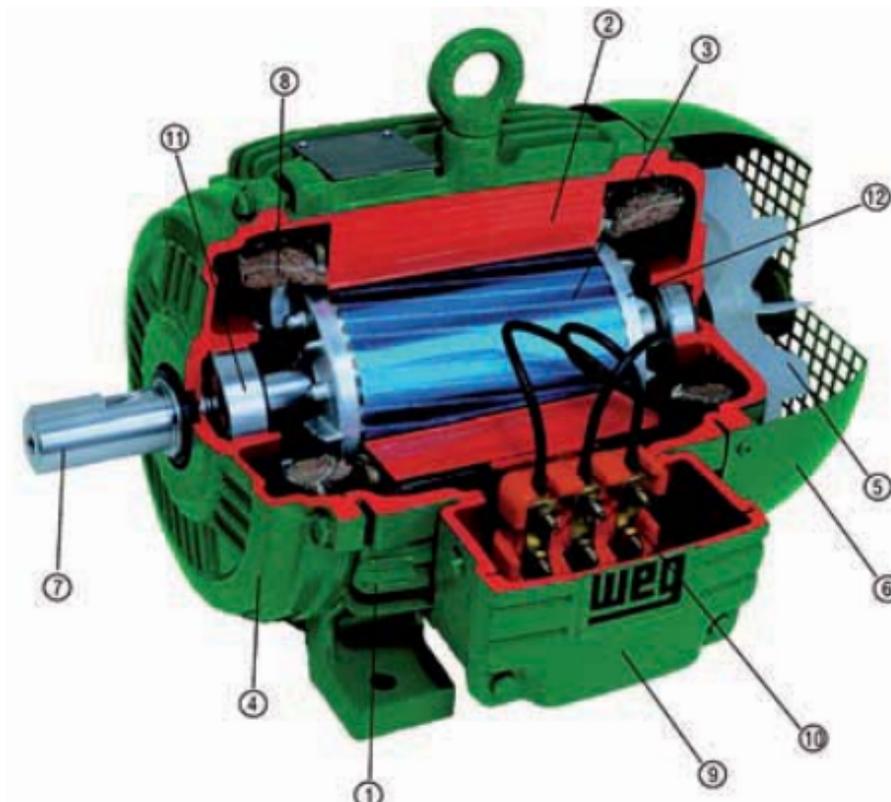
2.6 Motores de indução CA

De acordo com Chapman (2013), um motor é uma máquina que converte energia elétrica em energia mecânica. Entre todos os tipos de motores, o motor de indução é o mais amplamente utilizado devido à sua simplicidade, robustez e baixo custo. Logo, Umans (2014) justifica o nome máquina de indução por não haver nenhuma conexão física entre o estator e o rotor.

No que diz respeito à construção do motor de indução, Chapman (2013) acrescenta que ele possui fisicamente o mesmo estator que uma máquina síncrona. No entanto, eles possuem construções de rotor diferentes, sendo um deles o rotor de gaiola de esquilo e o outro o rotor bobinado.

Conforme mencionado por Weg Motores (2020), o motor de indução é fundamentalmente composto por duas partes: o estator e o rotor. A figura 11 ilustra as principais partes do motor.

Figura 11 - Partes internas de um motor de indução.



Fonte: Weg Motores (2009).

Neste motor de indução, a carcaça (1) é a estrutura suporte do conjunto, de construção robusta em ferro fundido, aço ou alumínio injetado, resistente à corrosão e com aletas. No núcleo de chapas (2), as chapas são de aço magnético, tratadas termicamente para reduzir ao mínimo as perdas no ferro.

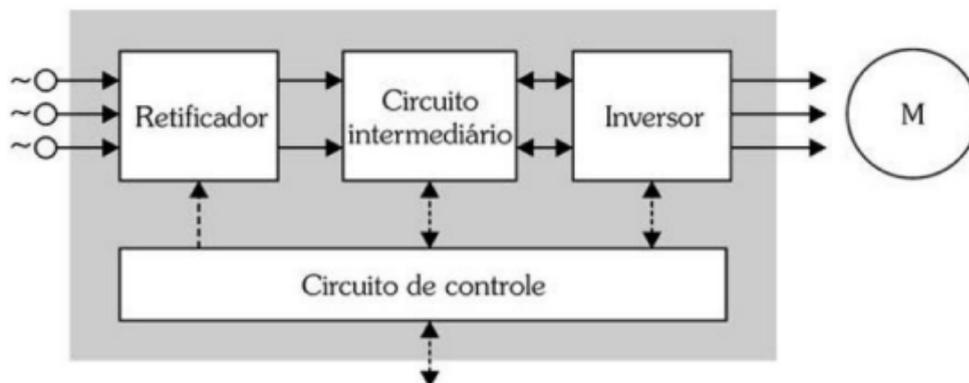
O enrolamento trifásico (8) é composto por três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, formando um sistema trifásico ligado à rede trifásica de alimentação. O eixo (7) transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor, sendo tratado termicamente para evitar problemas como empenamento e fadiga. No núcleo de chapas (3), as chapas possuem as mesmas características das chapas do estator. As barras e anéis de curto-circuito (12) são de alumínio injetado sob pressão numa única peça.

Outras partes do motor de indução: tampa (4), ventilador (5), tampa defletora (6), caixa de ligação (9), terminais (10) e rolamentos (11).

2.7 Inversor de frequência

Os inversores de frequência são equipamentos capazes de controlar a velocidade e torque de motores através da modulação da frequência de saída. Conforme Franchi (2013), eles são divididos em 3 estágios, sendo o primeiro para a retificação do sinal da entrada, o segundo para o controle do circuito intermediário e o terceiro para o acionamento dos transistores de saída. A figura 12 mostra um diagrama simplificado dos principais blocos do inversor de frequência.

Figura 12 - Bloco de inversor de frequência.



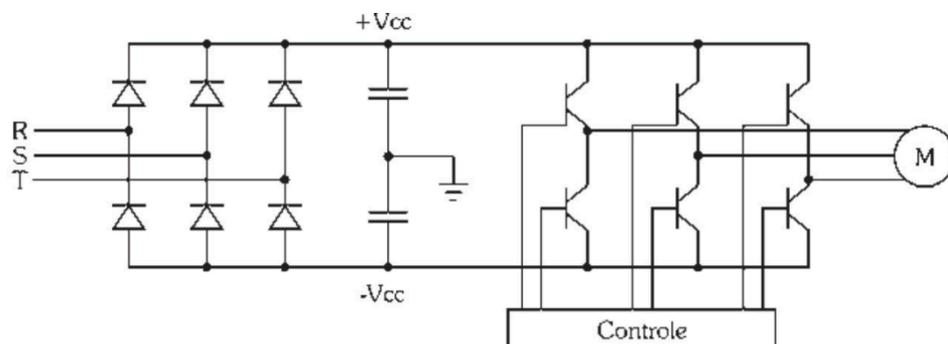
Fonte: Franchi (2013).

Ainda segundo o autor, o estágio do retificador é responsável pela retificação do sinal alternado de entrada que possui tensão (220Vac ou 380Vac) e frequência de (60Hz) constantes provenientes da rede de alimentação. São utilizados diodos, componentes semicondutores que permitem a passagem da corrente em apenas uma direção.

A onda retificada que sai do primeiro estágio passa pelo circuito intermediário, que, segundo Franchi (2013), regula a tensão retificada com armazenamento de energia por meio de um banco de capacitores. Capelli (2013) acrescenta que esse circuito forma uma fonte DC simétrica, pois há um ponto de terra como referência, como pode-se observar na figura 16.

No estágio seguinte, Capelli (2013) explica o circuito inversor, que possui 6 transistores IGBTs que são responsáveis pela inversão da tensão contínua do barramento DC em um sinal alternado, com tensão e frequência variáveis. A Figura 13 apresenta o diagrama elétrico detalhado de um inversor de frequência.

Figura 13 - Diagrama elétrico detalhado do inversor de frequência.



Fonte: Capelli (2013).

Para esse controle dos transistores, Capelli (2013) apresenta o bloco de controle do inversor, que tem como objetivo chavear os 6 transistores IGBT de forma a criar 3 fases com ondas senoidais separadas em 120° . Franchi (2013) acrescenta que esses disparos dos transistores devem garantir que a variação da tensão aplicada seja proporcional ao ciclo útil do PWM.

A estrutura interna de um inversor de frequência normalmente costuma ser a mesma para os diversos modelos e fabricantes. Porém, o controle de acionamento para os diversos tipos de aplicações altera entre controle escalar, vetorial e uma mistura dos dois.

Capelli (2013) explica que o controle escalável é baseado na estratégia de manter o torque constante para qualquer velocidade de funcionamento do motor. Já o controle vetorial é aplicável para alta performance, onde é necessário um controle preciso de torque para a faixa de frequência operada.

Franchi (2013) argumenta que o método escalar é propício a aplicações de baixo custo com controle de velocidade razoável e o controle vetorial é aplicado à possibilidade de mais precisão de torque e respostas rápidas de velocidades.

Essas alterações de funcionamento do equipamento são executadas com parâmetros predefinidos de fábrica nos inversores de frequência. Conforme manual de inversores Weg (2023), os parâmetros são agrupados da seguinte forma:

- Parâmetros de leitura: parâmetros que podem ser visualizados no display, mas não alterados, como por exemplo, tensão, corrente e potência;
- Parâmetros de regulação: parâmetros ajustáveis, como por exemplo, tensão inicial, rampa de aceleração e corrente de sobrecarga;
- Parâmetros de configuração: definem as características do hardware do equipamento, como por exemplo, entradas digitais e relés de saída;
- Parâmetros do motor: indicam as características do motor, como por exemplo, corrente nominal, fator de potência e tensão nominal.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Conforme mencionado anteriormente, este trabalho apresenta uma proposta de *retrofit* para uma máquina embutidora de salsicha na empresa JBS unidade Seara Alimentos localizada no Vale do Taquari/RS.

Para elaborar a proposta, foi realizado um estudo do funcionamento da máquina e, baseado nesse levantamento, elaborou-se a lógica de controle via CLP, um sistema de monitoramento via IHM e a solução foi validada em bancada, podendo ser aplicada futuramente pela empresa.

As seções a seguir apresentam as etapas realizadas, iniciando pela contextualização da empresa.

3.1 Local de estudo

O foco deste estudo é a unidade da Seara Alimentos, uma empresa pertencente ao grupo JBS. De acordo com dados da JBS (2023), a empresa representa 1,6% do Produto Interno Bruto (PIB) do estado do Rio Grande do Sul, com operações estendendo-se por 22 cidades do estado. A unidade específica de

interesse está situada na cidade de Roca Sales, também no estado do Rio Grande do Sul.

Essa unidade está registrada como uma indústria dedicada à fabricação de produtos derivados de carne. Atualmente, a unidade produz uma ampla variedade de produtos embutidos, incluindo peito de peru, linguiça frescal, salsicha e mortadela. No processo de fabricação da salsicha especificamente, a empresa aloca duas máquinas dedicadas ao processo de embutimento da salsicha, ambas com a mesma operação, porém de marcas distintas.

3.2 Funcionamento da máquina

Na Figura 14 está ilustrada a embutidora de salsicha do modelo RT-6, fabricada pela marca Townsend Engineer Company no ano de 1993, que é o objeto de estudo deste trabalho. Essa embutidora tem como principal função encher a massa nos invólucros, conferindo a elas a forma característica das salsichas.

Figura 14 - Embutidora de salsicha RT-6.



Fonte: Autor (2023).

Os ajustes de operação dessa máquina são predominantemente mecânicos, como por exemplo, tamanho da salsicha, torção de cada gomo e carregamento de tripa. Com o decorrer do tempo, essas operações sofreram alterações. Para melhor compreensão do funcionamento da máquina, os processos realizados serão divididos em etapas, conforme segue.

A primeira etapa é a alimentação da embutideira. Nessa etapa a massa obtida do processo é depositada em um recipiente, como um funil, que está equipado com uma bomba helicoidal. Essa bomba garante um fluxo contínuo da massa para o processo de enchimento. Qualquer massa que não seja utilizada pela máquina é direcionada de volta ao funil por um retorno existente na tubulação.

Na segunda etapa, trata-se do enchimento dos invólucros. Para tanto, a embutideira é equipada com uma bomba de engrenagem que desempenha a função de pressionar a massa através do funil de enchimento até o invólucro da salsicha. Essa bomba de engrenagem é controlada por um inversor de frequência, que permite ajustar a quantidade de massa no invólucro. Para permitir a troca do invólucro vazio a cada ciclo de operação, existe um mecanismo de acoplamento da bomba de engrenagem que tem a função acoplar e desacoplar a bomba de engrenagem no momento adequado para o carregamento da nova tripa.

Na terceira etapa, trata-se da torção e controle do tamanho. Nessa fase, a tripa já contém massa, mas ainda não possui o formato característico da salsicha. Portanto, a tripa passa por um afunilador giratório. Esse afunilador realiza a torção na quantidade adequada, garantindo que a tripa com massa não se desfaça durante o processo. No mesmo momento, a tripa entra em correntes formadoras, chamadas de articulador, que possuem tamanhos pré-fabricados para cada tipo de salsicha. Esse articulador molda a salsicha, conferindo-lhe o tamanho e o formato característicos dos gomos.

Por fim, a última etapa, a pendura, onde as salsichas são expelidas por meio do movimento do articulador, atravessando um direcionador conhecido como "guampa", e lançadas nos ganchos de pendurar, onde aguardam a fase de retirada.

O mecanismo da guampa é giratório e possui um sensor indutivo que conta o número de voltas completas realizadas pelo mecanismo, permitindo assim o espaçamento adequado dos varais de pendurar.

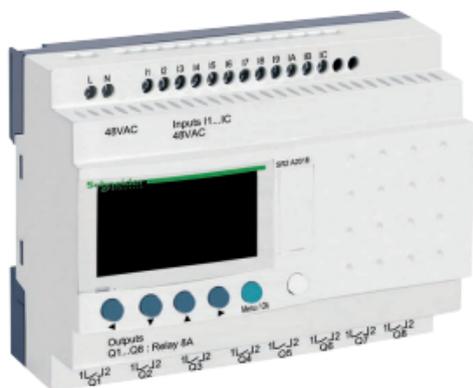
É essencial que o movimento do articulador, a guampa e os ganchos de pendurar estejam em sincronia para evitar quedas das salsichas e assegurar que cada gancho contenha a mesma quantidade. Para alcançar isso, o varal de pendura é interligado ao sistema de articulador por meio de engrenagens e correntes. Esse conjunto de mecanismos é alimentado por um inversor de frequência que, juntamente com a bomba de engrenagem, determina o peso de cada gomo e a velocidade de produção da máquina.

3.3 Sistema de automação atual

Conforme mencionado previamente, a máquina já foi submetida a modificações tanto em sua parte mecânica quanto elétrica. O sistema de automação desta máquina não é mais o original de fábrica, tendo sido substituído por um controlador lógico programável (CLP) de pequeno porte da marca Schneider Electric, modelo Zelio Logic. Esse CLP possui 16 entradas digitais e 10 saídas a relé de estado sólido.

A figura 15 apresenta o CLP utilizado atualmente na máquina.

Figura 15 - CLP Zelio Logic.



Fonte: Schneider Electric (2023).

O Controlador Lógico Programável (CLP) possui um visor monocromático e botões para interagir com os parâmetros de programação em linguagem Ladder. Atualmente, esse é o método utilizado pelos manutentores para ajustar os parâmetros da máquina, como por exemplo, o tempo de início da tripa, o tempo de término da tripa e o número de voltas da guampa. As entradas digitais atuais do CLP são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 - Entradas digitais atuais.

Entradas digitais atuais	
I1 Confirmação seg. botão emergência	I9 Sensor seguidor avançado
I2 Botão liga	I10 Sensor Gaveta fechado
I3 Botão desliga	I11 Confirmação seg. gaveta
I4 Botão Reset	I12 Confirmação seg. frontal
I5 Sensor funil avançado	I13 Confirmação seg. inferior
I6 Sensor funil recuado	I14 Sensor guampa
I7 Sensor seguidor recuado	I15 Confirmação de erro no inversor
I8 Botão Parada rápida	I16 Botão Liga Bomba Helicoidal

Fonte: Autor (2023).

Como pode ser observado na identificação das entradas do CLP, a interação do operador com a máquina é realizada por meio de cinco botões físicos que acionam os atuadores. Além disso, a embutideira possui quatro sensores magnéticos de posição dos pistões e dois sensores indutivos de posição para a gaveta e o mecanismo giratório da guampa.

Além desses componentes, a máquina é equipada com cinco dispositivos de segurança projetados para garantir a integridade das pessoas envolvidas no processo. No entanto, devido à limitação de entradas digitais no CLP, apenas quatro

desses dispositivos estão conectados ao sistema. As saídas digitais atuais do CLP são apresentadas na tabela 3:

Tabela 3 - Saídas digitais atuais.

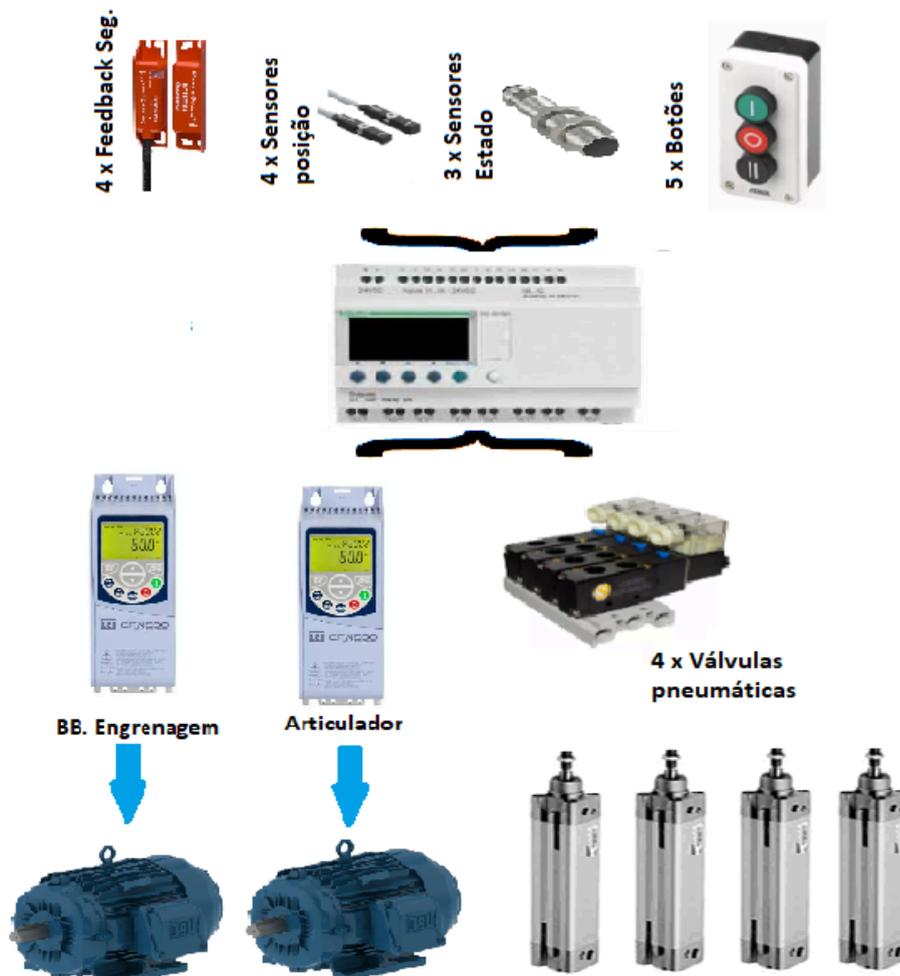
Saídas digitais atuais			
Q1	Aciona Pistão Gaveta	Q6	Aciona Pistão acoplamento
Q2	Aciona Pistão Funil de enchimento	Q7	Aciona Motor articulador velocidade 2
Q3	Aciona Pistão Seguidor de tripa	Q8	Aciona Motor Bomba de engrenagem
Q4	Aciona Motor Bomba Helicoidal	Q9	Sinaleiro Led máquina em operação
Q5	Aciona Motor Articulador velocidade 1	Q10	Sinaleiro Led máquina em espera

Fonte: Autor (2023).

Na identificação das saídas do CLP, é possível observar quatro acionamentos de pistões, dois sinaleiros destinados a permitir que os operadores avaliem o estado da máquina e, ainda, a máquina conta com três acionamentos de motores. O motor da bomba helicoidal é acionado por partida direta, enquanto os outros dois motores são controlados através de inversores de frequência. Os inversores de frequência utilizados são da marca WEG, modelo CFW 500, sendo ativados por meio de entradas digitais. Além disso, o controle de velocidade é ajustado por intermédio da IHM do equipamento, que determina a velocidade tanto da bomba de engrenagem quanto do motor do articulador.

A Figura 16 oferece uma representação dos principais equipamentos atualmente em uso na máquina, incluindo os inversores de frequência.

Figura 16 - Equipamentos atuais da máquina.



Fonte: Autor (2023).

Em virtude dos fatos mencionados na seção anterior, constata-se que o sistema atual de controle da embutideira carece de uma atualização, promovendo facilidades de ajustes e incremento de novos sensores. Dentre os principais pontos de melhoria, propõe-se:

- Atualização dos drives de controle dos motores;
- Incremento de novos sensores;
- Atualização do CLP;

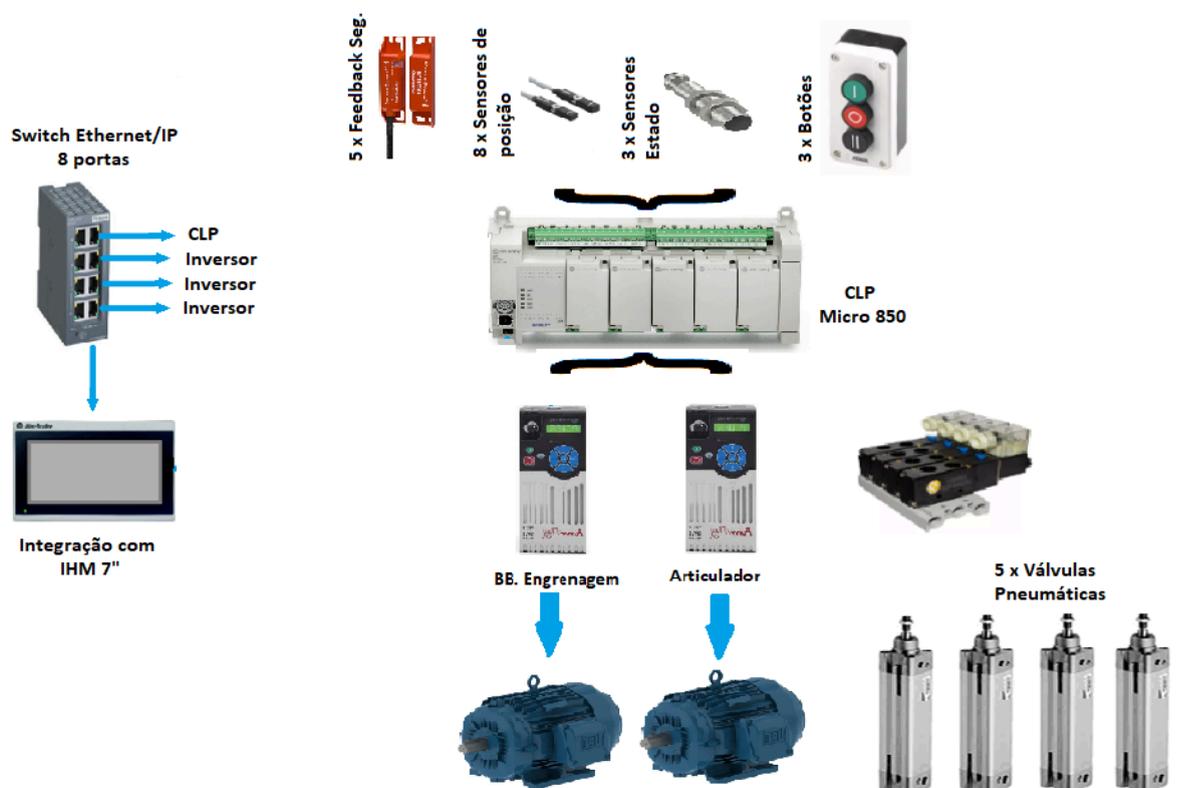
- Incremento de uma IHM.

3.4 Sistema de automação proposto

Este trabalho apresenta a elaboração de uma proposta de *retrofit* para a embutideira em questão. Com essa proposta, o principal ganho que a empresa terá será a autonomia dos operadores para alteração dos parâmetros necessários para a produção e *setup* da salsicha. Aliado a isso, projeta-se a redução do tempo de máquina parada, pois até então, a produção depende da disponibilidade dos técnicos de manutenção para o acompanhamento do processo.

A Figura 17 apresenta um diagrama com os principais componentes que serão instalados a partir da implementação do sistema proposto.

Figura 17 - Sistema de automação proposto.



Fonte: Autor(2023).

Para melhor assertividade do projeto, foi realizado um estudo dos parâmetros de ajustes existentes e dos parâmetros que necessitem ser incrementados. Também foi feito um estudo das necessidades operacionais com as pessoas envolvidas na operação, a fim de desenvolver uma interação mais fácil e amigável para o operador com o novo sistema. As seções a seguir apresentam os principais componentes dimensionados para atender as especificações do sistema proposto.

3.4.2 Controle dos Motores

Na proposta de melhoria, está prevista a substituição de dois inversores de frequência da marca WEG, que já estão em uso. Os novos inversores serão da marca Allen-Bradley, modelo PowerFlex 525, os quais serão equipados com recursos de comunicação Ethernet/IP. Eles serão instalados nos seguintes motores:

- Bomba de engrenagem;
- Motor do articulador;

Vale ressaltar que esses inversores serão os únicos equipamentos que a empresa precisará adquirir para a atualização do sistema. A escolha desses inversores da marca Allen-Bradley foi baseada na facilidade de integração com o conjunto já existente, que inclui o CLP e a IHM da mesma marca.

3.4.3 Sensores

Será incorporado à máquina um sensor pressostato digital, com ajustes de range entre 0 a 16 bar de pressão, que indicará por meio de uma saída discreta, conformidade para o trabalho. Atualmente, esse diagnóstico é feito pela experiência do técnico de manutenção, que detecta qualquer deficiência no fornecimento de ar comprimido.

Outra melhoria necessária para facilitar a operação da máquina envolve a adição de sensores magnéticos de posição de avanço e recuo para os pistões do acoplamento e da gaveta. Estes sensores são específicos para instalação em cilindros pneumáticos e comutam uma saída discreta para o CLP. Atualmente, esses sensores não estão presentes na máquina.

Além disso, em comparação com as entradas digitais atualmente disponíveis na máquina, serão incorporadas todas as confirmações dos sensores de segurança que a máquina já possui.

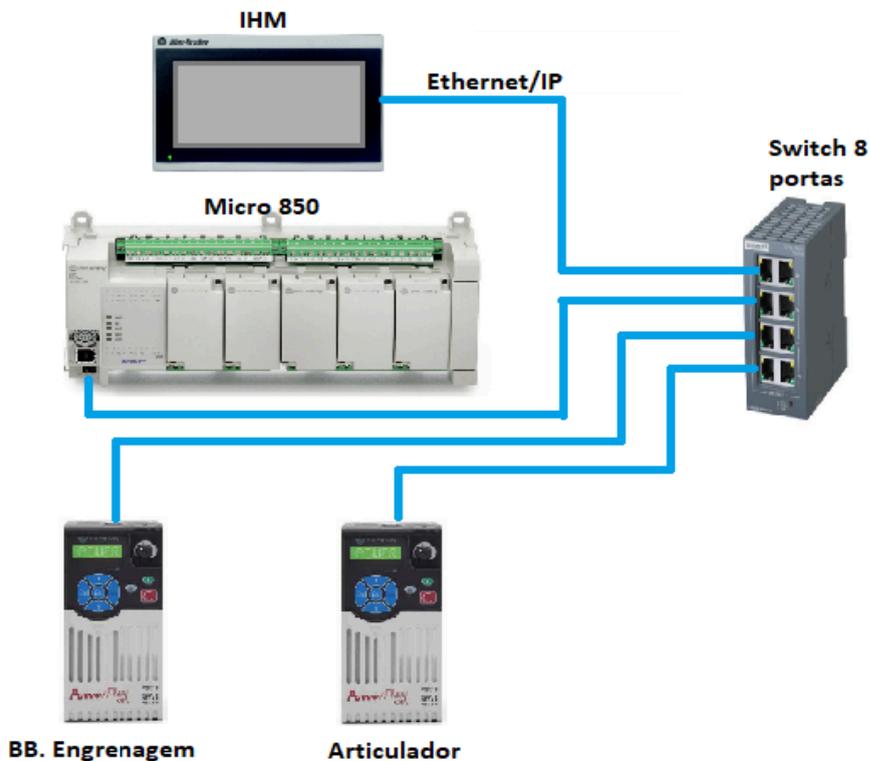
Todos esses novos equipamentos acrescentados na máquina estão em conformidade técnicas com a instalação da máquina e pertencem ao estoque da empresa.

3.4.4 Controlador Lógico Programável

Para este projeto, será adotado um CLP da marca Allen-Bradley, modelo Micro850, equipado com 24 entradas digitais e 16 saídas digitais. A integração do controle e leitura dos componentes será realizada por meio de um barramento de comunicação Ethernet/IP, originário do CLP. Esse barramento conectará os dois inversores de frequência, o CLP e a IHM, utilizando um Switch Ethernet da marca Siemens, que conta com 8 portas RJ45.

É importante ressaltar que tanto o CLP quanto o Switch Ethernet foram considerados como equipamentos sobressalentes. Para uma visualização mais clara dos componentes envolvidos, a Figura 18 apresenta o diagrama com os principais equipamentos utilizados nesta atualização.

Figura 18 - Equipamentos para projetos.



Fonte: Autor (2023).

Para tanto, o CLP necessita ter as seguintes entradas digitais, conforme tabela 4.

Tabela 4 - Entradas digitais propostas.

Entradas digitais propostas			
I1	Confirmação seg. botão de emergência	I11	Sensor gaveta aberta
I1	Confirmação seg. corda de emergência	I12	Sensor gaveta fechada
I3	Confirmação seg. proteção frontal	I13	Sensor acoplamento avançado
I4	Confirmação seg. proteção inferior	I14	Sensor acoplamento recuado
I5	Confirmação seg. da gaveta	I15	Sensor guampa
I6	Confirmação bomba helicoidal	I16	Pressostato

I7	Sensor seguidor avançado	I17	Botão Liga
I8	Sensor seguidor recolhido	I18	Botão ciclo manual ou automático
I9	Sensor funil avançado	I19	Botão Reset
I10	Sensor funil recolhido		

Fonte: Autor (2023).

Abaixo, segue a relação de saídas digitais, conforme tabela 5.

Tabela 5 - Saídas digitais propostas.

Saídas digitais propostas			
Q1	Aciona motor bomba helicoidal	Q6	Aciona pistão funil de enchimento
Q2	Aciona motor bomba de engrenagem	Q7	Aciona pistão seguidor
Q3	Aciona motor articulador	Q8	Aciona pistão acoplamento
Q4	Aciona motor gancheira	Q9	Aciona Válvula de segurança
Q5	Aciona pistão gaveta		

Fonte: Autor (2023).

Em comparação com as saídas digitais existentes atualmente na máquina, foi adicionada apenas uma válvula de segurança para o ar comprimido.

3.4.5 Interface Homem Máquina

Para contemplar a etapa de visualização e configuração de parâmetros, optou-se por utilizar uma IHM da marca Allen-Bradley, modelo PanelView 800 com tamanho de 7", equipamento este sobressalente, retirado junto aos demais componentes. A Figura 19 apresenta a IHM selecionada.

Figura 19 - IHM PanelView 800 de tamanho 7”.



Fonte: Autor (2023).

A integração da IHM se concentra principalmente em permitir que os operadores controlem o tempo de acionamento das válvulas pneumáticas e realizem ajustes na velocidade dos inversores de frequência. Além disso, os operadores terão acesso à leitura da velocidade de cada motor por meio do driver de controle, juntamente com as curvas de aceleração e desaceleração correspondentes. Esses parâmetros possibilitam a produção das salsichas de acordo com os padrões estabelecidos pela empresa.

Para a operação da máquina, a IHM apresentará uma tela com os principais parâmetros de operação, além de possibilitar a criação de receitas de produção. Para os técnicos de manutenção, a IHM fornecerá telas que indicarão o status de cada entrada e saída, tela de acionamento manual, parametrização de tempo de acionamento de válvulas e parametrização de inversores de frequência. Além disso, a IHM contemplará a exibição de diagnóstico de falha da máquina.

Outra estratégia para a atualização da máquina envolve a integração da IHM e os inversores da Allen Bradley, com o objetivo de assegurar que um possível defeito em um desses equipamentos não resulte em uma parada prolongada na produção da máquina. Para alcançar essa meta, foram implementados botões

físicos essenciais para o funcionamento da máquina, juntamente com saídas digitais para o acionamento dos inversores de frequência. Essa abordagem estratégica tem como objetivo garantir que as funções críticas da máquina continuem operando, mesmo em situações de falha da IHM ou de troca de inversores de frequência de outro modelo.

Na figura 20, os equipamentos estão separados para início de projeto.

Figura 20 - Equipamentos para projetos.



Fonte: Autor (2023).

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante a realização do presente trabalho. A seção 4.1 relata detalhes da programação do CLP. O item 4.3 apresenta a construção das telas da IHM e detalhes de cada uma delas. Na seção 4.4 está descrita a metodologia adotada para os testes durante a elaboração dos códigos de programação. Na seção 4.5, por fim, é apresentado o investimento necessário para a realização do *retrofit* proposto.

4.1 Programação do CLP

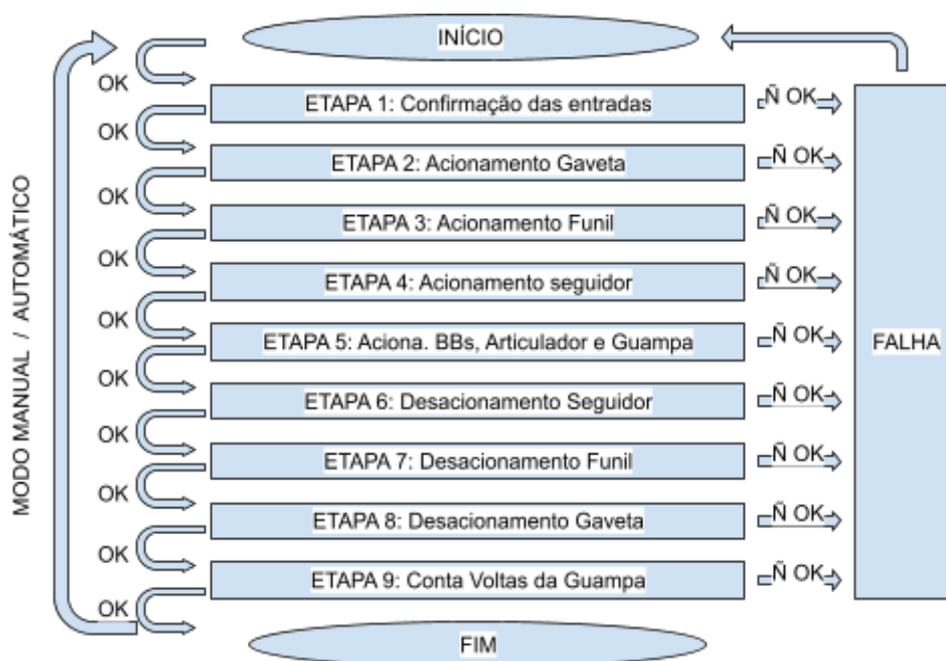
A programação do CLP foi realizada utilizando o software Connected Component Workbench (CCW), da empresa Allen-Bradley. Com essa ferramenta foi possível simular o CLP da mesma família utilizada neste trabalho. Após uma análise detalhada e compreensão aprofundada dos aspectos mecânicos e de automação da máquina, elaborou-se uma estratégia para desenvolver e estruturar os programas no CLP.

O entendimento do código para a máquina embutidora de salsicha segue um algoritmo de fila, onde o primeiro acionamento a ser iniciado é o último a ser desativado. Para garantir a sincronização das partes mecânicas, foram implementados temporizadores entre cada acionamento. Além disso, antes de iniciar uma nova fila de produção, foi incorporada uma lógica para garantir a separação adequada entre as tripas, evitando qualquer sobreposição, como vai ser explicado no código de programação.

Também, para tornar o código mais legível e organizado, optou-se por dividir o programa em seis etapas e utilizar bobinas de "Set" e "Reset" para acionamentos, conforme explicado a seguir. O fluxograma da Figura 21 apresenta a sequência de

etapas necessárias para o pleno funcionamento da máquina, com base na automação proposta.

Figura 21 - Fluxograma da lógica.

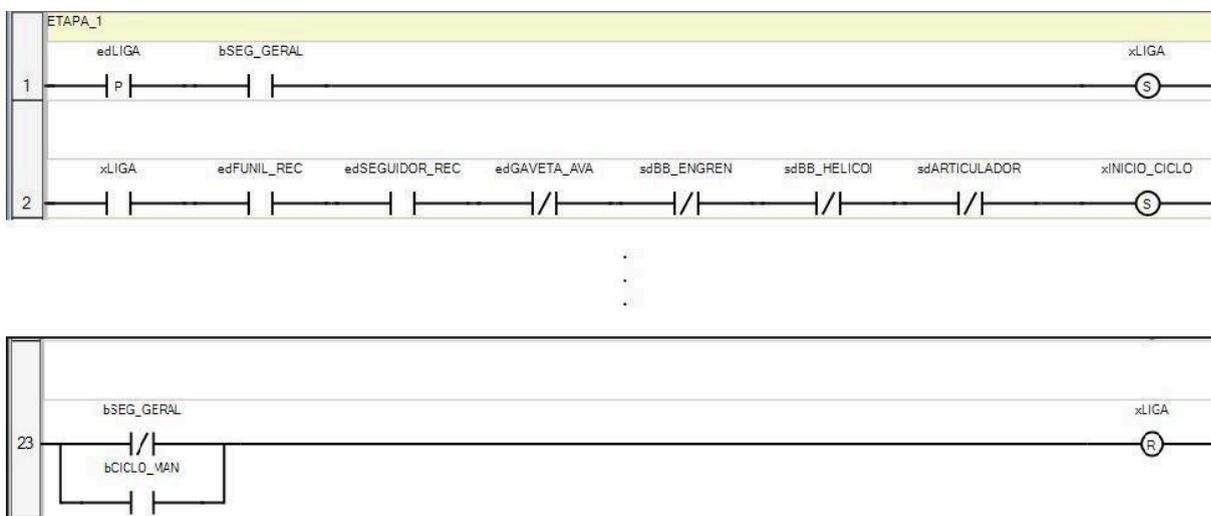


Fonte: Autor (2023).

Conforme demonstra o fluxograma da Figura 24, na fase inicial do processo, o ciclo é iniciado quando o botão físico de ligar é pressionado. É fundamental que o circuito de segurança geral da máquina esteja fechado e que as posições do funil e do seguidor estejam recuadas. Além disso, a gaveta deve estar aberta e, tanto as bombas quanto o articulador, devem estar desligados.

Nesta primeira etapa, é igualmente importante garantir a disponibilidade da opção de ciclo de produção contínuo. Isso significa que, quando a última salsicha sair da guampa, o operador não precisa iniciar manualmente um novo ciclo de produção. Para atingir esse objetivo, foi implementado um botão físico, o qual foi contemplado na lógica através de bobinas de "Set" e "Reset". A Figura 22 apresenta parte do código responsável pela lógica inicial.

Figura 22 - Parte da lógica da etapa 1.

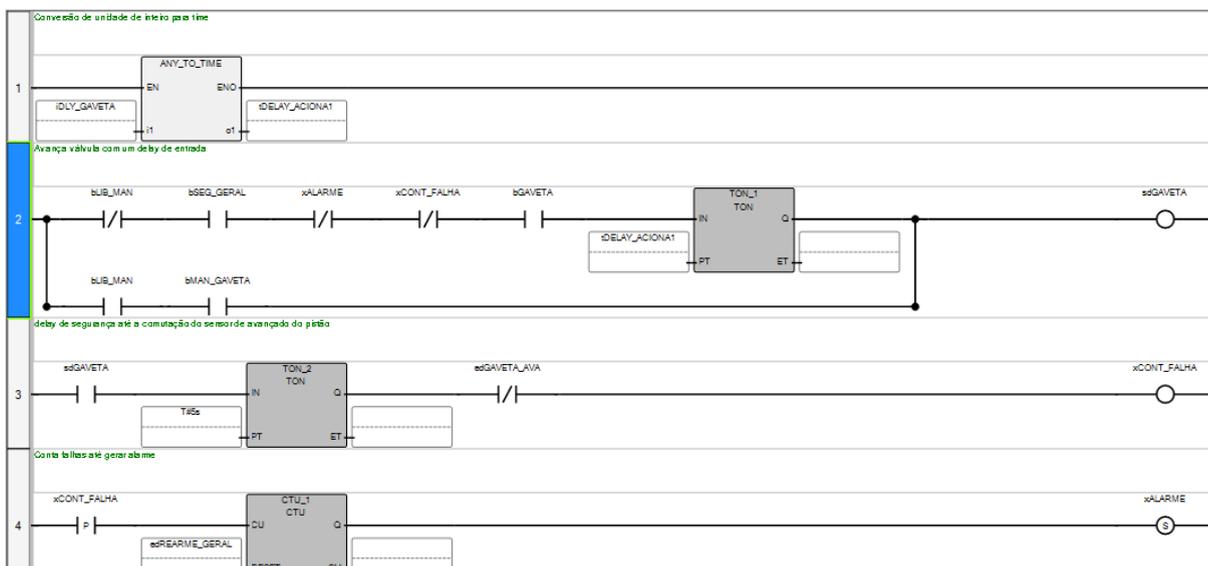


Fonte: Autor (2023).

Com as condições iniciais definidas, o primeiro acionamento ocorre na gaveta de tripas que armazena os invólucros. Nesta lógica de funcionamento foi implementado um sensor de posição avançado no pistão da gaveta para permitir que o CLP identifique se a gaveta está segurando a tripa na posição adequada. Quando a tripa cai na posição correta, o pistão sai da posição recuada e não alcança o sensor de posição avançado.

No entanto, se a tripa não cair na posição correta, o sensor de posição avançado é ativado, acionando uma lógica específica que realiza três ciclos de abertura e fechamento do mecanismo da gaveta. Essa abordagem visa garantir que a tripa caia na posição desejada. Caso após esses três acionamentos da gaveta a posição correta não seja alcançada, o sistema registrará uma falha na gaveta. Na figura 23 é possível ver parte do código responsável pelo acionamento da gaveta.

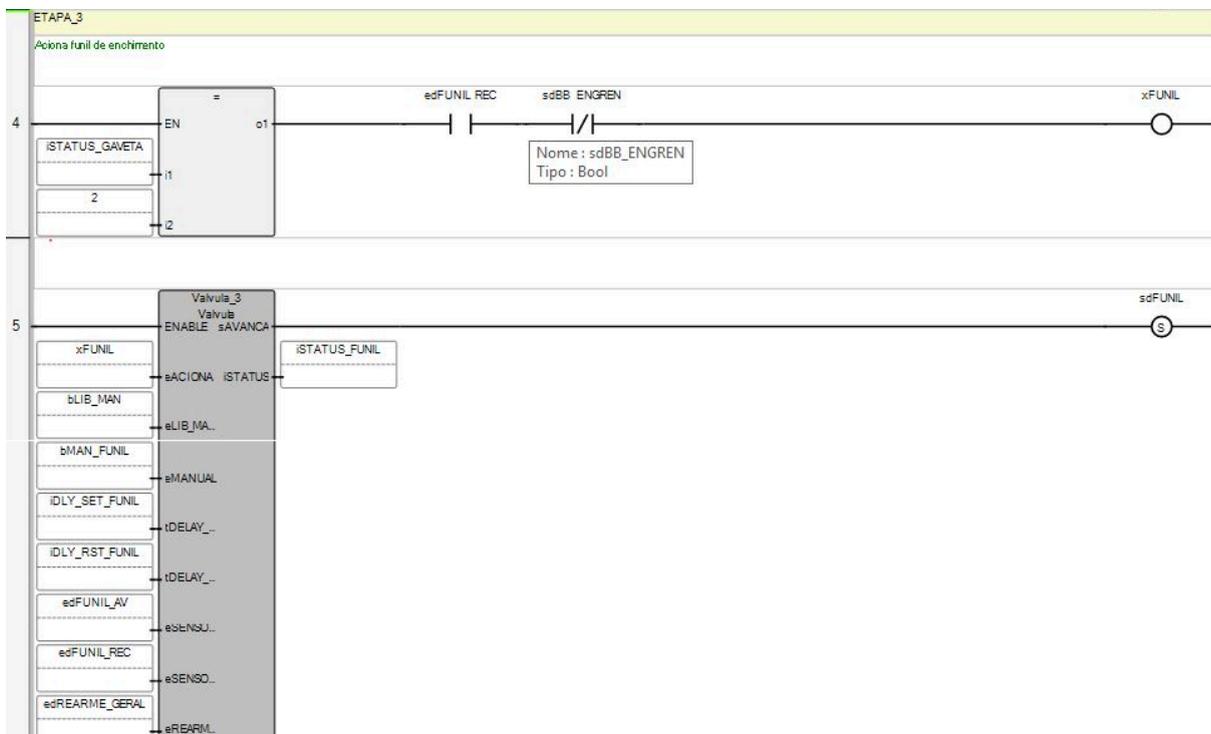
Figura 23 - Parte da lógica da etapa 2.



Fonte: Autor (2023).

Após a conclusão da etapa 2, o pistão do funil de enchimento é acionado. Como o acionamento de pistão é uma operação que se repete, foi criado um bloco de função com as características desejadas, incluindo um temporizador no acionamento, tratamento de falhas entre os acionamentos e monitoramento do estado do pistão. A Figura 24 mostra uma parte do código responsável pelo bloco de função da válvula, bem como o layout do bloco elaborado.

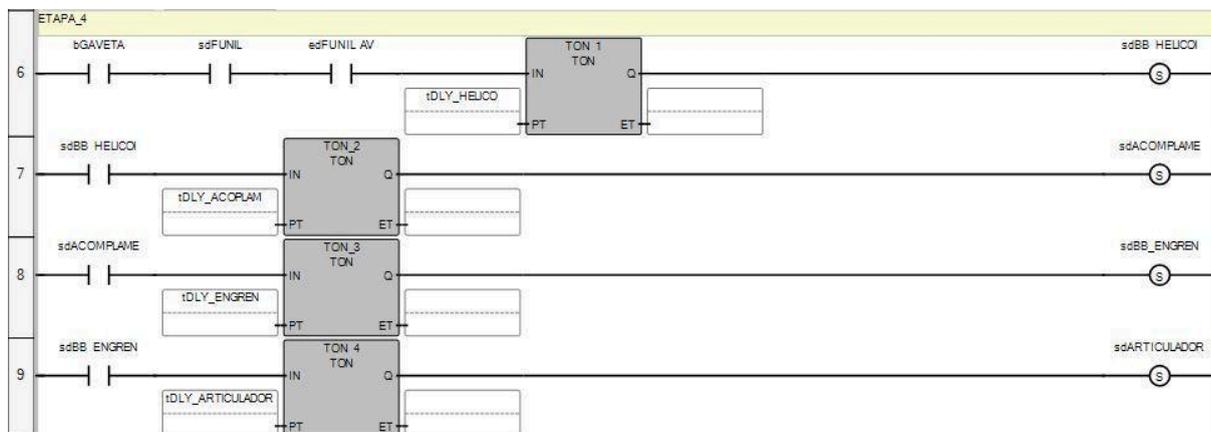
Figura 24 - Parte da lógica da etapa 3.



Fonte: Autor (2023).

Na etapa 4 do código ocorre o acionamento da bomba helicoidal, do acoplamento da embreagem, da bomba de engrenagem, da formadora de salsicha e, por fim, da gancheira. Para realizar esses acionamentos, foram empregados temporizadores para retardar os comandos utilizando bobinas de "Set" e "Reset". Além disso, nesta seção, é importante fazer os ajustes de aceleração de cada equipamento. A Figura 25 exibe uma parte do código responsável pelo acionamento desses equipamentos.

Figura 25 - Parte da lógica da etapa 4.



Fonte: Autor (2023).

O último acionamento do sistema de fila ocorre na etapa 5, que aciona o pistão do seguidor. Nesta lógica, é essencial garantir que o seguidor só seja acionado depois que a bomba de engrenagem estiver ligada. Além disso, é importante destacar que o ajuste do temporizador no acionamento do seguidor junto com o ajuste na aceleração da bomba, são os responsáveis por controlar o comprimento inicial da tripa. Para realizar esse ajuste, foram criadas variáveis globais que se conectam à IHM, permitindo o ajuste preciso.

A Figura 26 apresenta uma parte do código responsável pelo acionamento desse equipamento.

Figura 26 - Parte da lógica da etapa 5.

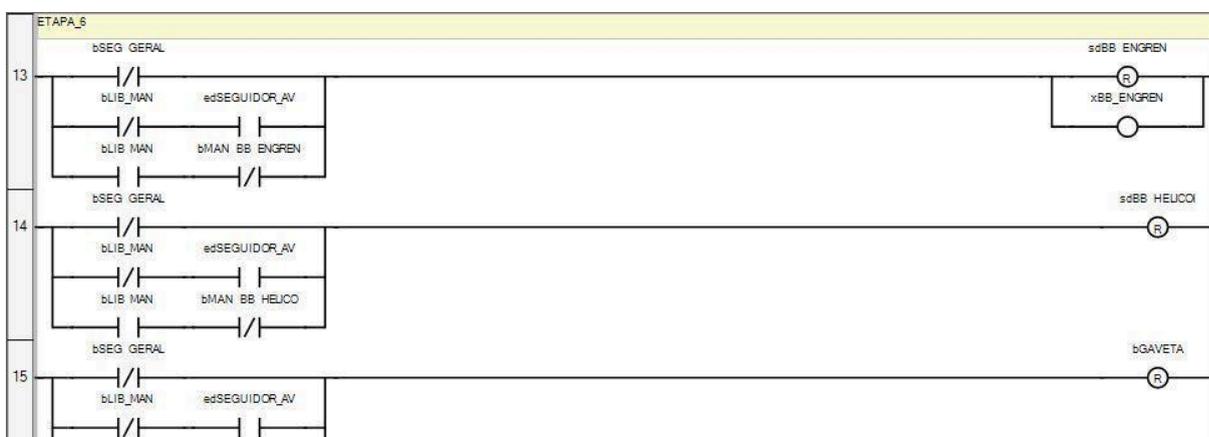


Fonte: Autor (2023).

Para permitir que outra tripa seja carregada, o processo de desativação é o inverso do acionamento. Quando o pistão do seguidor chegar ao final do curso, um sensor indicará sua posição e o processo de desativação começará desligando a bomba de engrenagem, a bomba helicoidal, abrindo a gaveta e desligando o articulador, nesta sequência.

Além disso, é importante ressaltar que essa lógica deve garantir a desativação em casos de falha na segurança da máquina e no acionamento manual de cada equipamento. A Figura 27 mostra uma parte do código responsável pela desativação dos equipamentos.

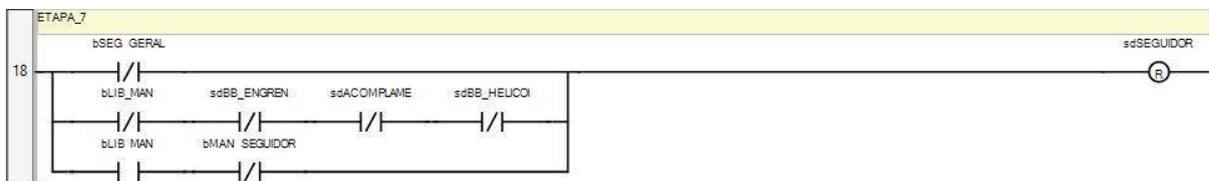
Figura 27 - Parte da lógica da etapa 6.



Fonte: Autor (2023).

No momento em que esses equipamentos estiverem desativados, a etapa 7 realiza o retorno do pistão do seguidor. A Figura 28 mostra uma parte do código responsável pela desativação do seguidor.

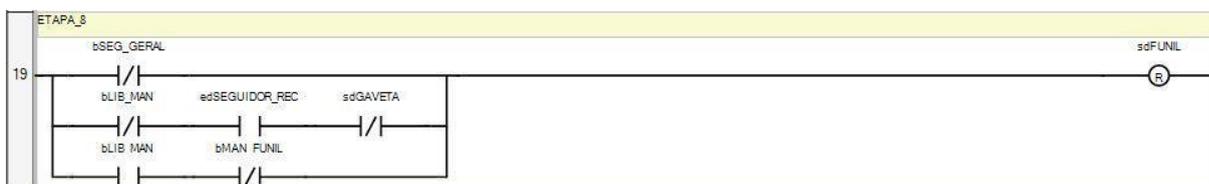
Figura 28 - Parte da lógica da etapa 7.



Fonte: Autor (2023).

Com o seguidor retornando para a posição recuada, a etapa 8 é ativada, ocorrendo o desacionamento do pistão do funil de enchimento. A Figura 29 apresenta uma parte do código responsável pela desativação do funil de enchimento.

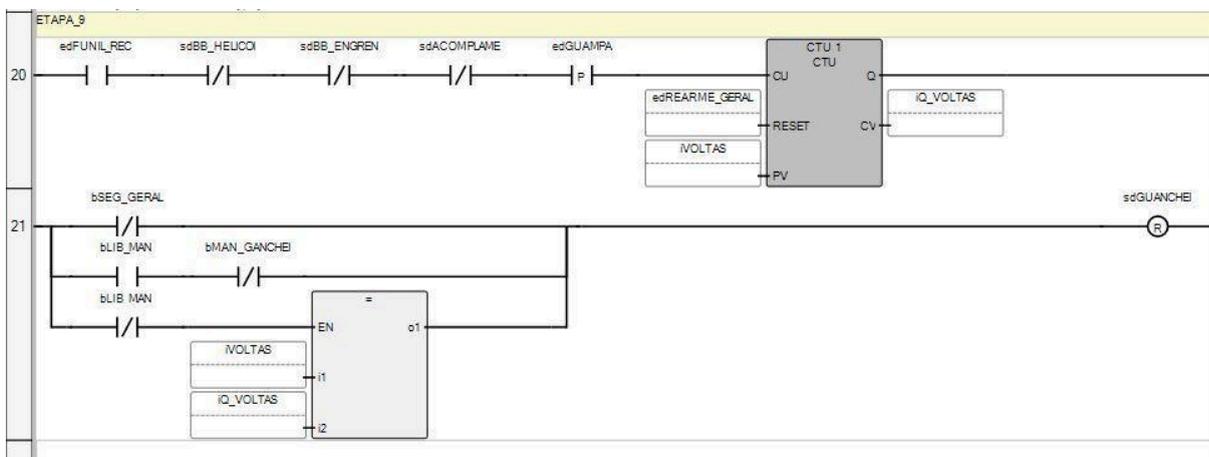
Figura 29 - Parte da lógica da etapa 8.



Fonte: Autor (2023).

Finalmente, na etapa 9, o processo é concluído com o sensor da guampa contando as voltas necessárias para aguardar o final da tripa e criar um espaço entre uma tripa e outra. Em seguida, o motor da gancheira é desligado. Para realizar esse processo, são contados os pulsos de um sensor indutivo, posicionado em um local específico da máquina, onde o mecanismo giratório da guampa aciona o sensor aproximadamente a cada 500 ms, ou, uma volta completa. Em seguida, os pulsos são comparados com o valor definido pelo operador na IHM. A Figura 30 mostra uma parte do código responsável pela desativação do motor da gancheira.

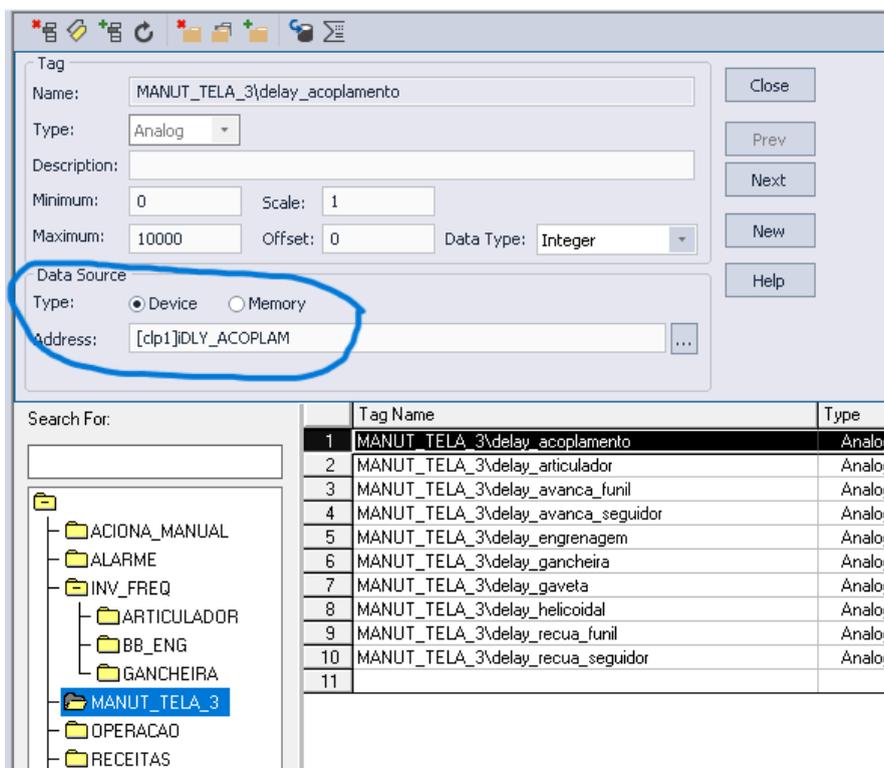
Figura 30 - Parte da lógica da etapa 9.



Fonte: Autor (2023).

Para concluir o código do CLP e introduzir o projeto das telas na IHM, apresenta-se uma imagem de como o software FactoryTalk View identifica as variáveis do projeto no CLP Micro 850. Na figura 31 podemos ver parte do mapeamento das tags realizada na IHM.

Figura 31 - Mapeamento das tags para a IHM.



Fonte: Autor (2023).

4.3 Programação da IHM

A programação da Interface Homem-Máquina (IHM) foi realizada utilizando o software FactoryTalk View da empresa Allen-Bradley, pois com ela, é possível implementar ferramentas de tela de alarme e receitas de forma facilitada.

4.3.1 Tela Inicial

Esta tela é exibida somente quando a máquina é ligada. Ela apresenta a identificação da máquina e a versão da última atualização. Além disso, na parte superior, há um menu fixo que indica a data e hora, bem como fornece acesso do usuário às telas de manutenção. Na parte inferior da tela existe um menu de navegação que consiste em abas para acessar as seguintes telas: Tela de

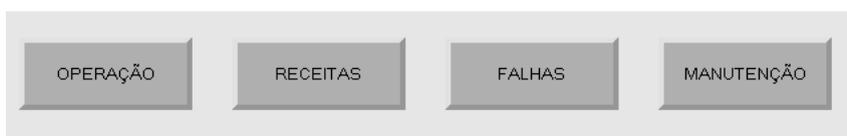
Operação, Receitas, Falhas e Tela de Manutenção. A Figura 32 mostra a tela inicial da embutideira.

Figura 32 - Tela inicial.

Usuário: MANUT 20/09/2023 15:13:50

RT - 6

Versão 12.23



Fonte: Autor (2023).

4.3.2 Tela de Operação

A tela de operação foi projetada para incluir os parâmetros essenciais que o operador precisa ajustar durante o funcionamento da máquina. Os principais ajustes disponíveis nesta tela englobam o ajuste inicial e final da tripa, a distância entre o início de uma tripa e o final de outra, o ajuste de peso e a velocidade de produção.

Além disso, nesta mesma tela foram incorporadas as opções para selecionar entre os ciclos de operação manual e automático. Essas funcionalidades são fundamentais para permitir que o operador controle e otimize o desempenho da máquina de acordo com as necessidades específicas do processo de produção. A Figura 33 apresenta a Tela de Operação.

Figura 33 - Tela de operação.

The screenshot displays the 'Tela de operação' (Operation Screen) with the following elements:

- Header: 'Usuário: DEFAULT' on the left and '20/09/2023 15:54:21' on the right.
- Parameters (each in a cyan box):
 - AJUSTE FINAL DE TRIPA: 0
 - AJUSTE INÍCIO DE TRIPA: 0
 - DISTÂNCIA ENTRE TRIPAS: ?????
 - AJUSTE DE PESO: 0,00
 - VELOCIDADE PRODUÇÃO: 0,00
- Action Button: 'CICLO MANUAL' (Manual Cycle) in a grey box.
- Navigation Bar (bottom): Four buttons labeled 'OPERAÇÃO', 'RECEITAS', 'FALHAS', and 'MANUTENÇÃO'.

Fonte: Autor (2023).

4.3.3 Tela de Receitas

A tela de receitas é uma funcionalidade do FactoryTalk View que proporciona a capacidade de configurar e salvar um conjunto de parâmetros diretamente na IHM. Esses parâmetros são os mesmos que o operador tem acesso na tela de operação.

Através da tela de receitas, é possível definir diferentes conjuntos de parâmetros predefinidos para a máquina, permitindo uma rápida alteração das configurações de operação, conforme necessário. Na Figura 34, é possível visualizar a tela de receitas na IHM.

Figura 34 - Equipamentos para projetos.



Fonte: Autor (2023).

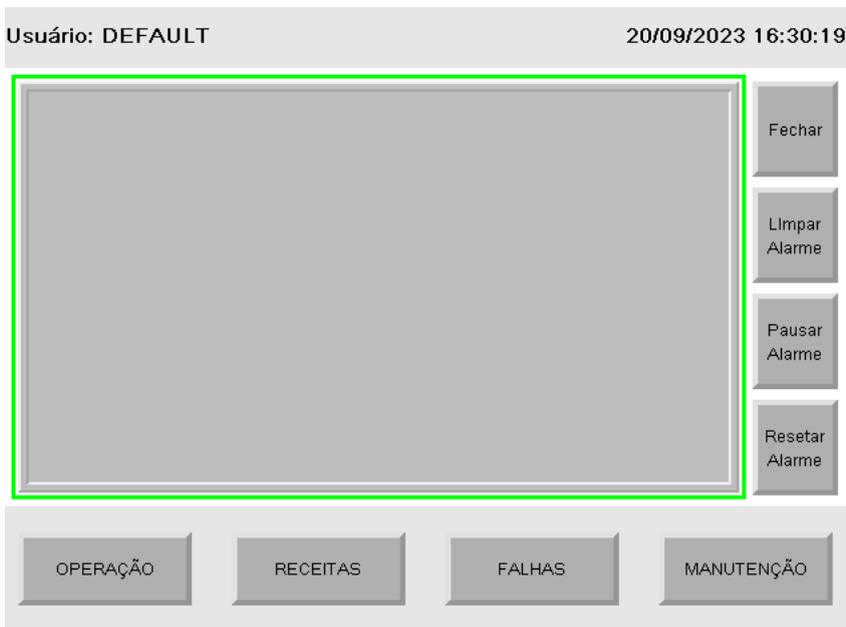
Essa funcionalidade é valiosa, pois agiliza o processo de configuração da máquina e possibilita a rápida adaptação a diferentes requisitos de produção, sem a necessidade de reconfigurações manuais extensas a cada vez.

4.3.4 Tela de Falhas

A tela de falhas é mais uma funcionalidade do software FactoryTalk View que desempenha um papel crucial na identificação e visualização de alarmes e falhas na IHM. Esta ferramenta desempenha um papel fundamental no diagnóstico de falhas, tanto para o operador, quanto para o pessoal de manutenção.

Ela fornece uma interface onde os alarmes e as falhas são apresentados de forma clara e organizada, permitindo que o operador, ou o técnico de manutenção identifique rapidamente a natureza do problema. Isso ajuda a reduzir o tempo de inatividade da máquina, pois as ações corretivas podem ser tomadas de maneira mais eficiente. Na Figura 35 é possível visualizar a tela de falhas na IHM.

Figura 35 - Tela de falhas.



Fonte: Autor (2023).

4.3.5 Telas de Manutenção

As telas da aba de manutenção desempenham um papel importante ao restringir o acesso dos operadores a parâmetros específicos de engenharia da máquina. Para isso, foi implementado um controle restrito nessas três abas.

Na primeira aba, são disponibilizados todos os acionamentos manuais que o técnico de manutenção precisa para identificar problemas no funcionamento da máquina. Após a liberação da tecla de modo manual, os comandos são desbloqueados, permitindo que o técnico acesse e controle os aspectos específicos da máquina, os quais são essenciais para a manutenção.

Essa abordagem é fundamental para garantir que apenas pessoal autorizado e treinado tenha acesso aos parâmetros críticos de engenharia da máquina durante operações de manutenção, contribuindo assim para a segurança e integridade do sistema. Na Figura 36 é possível visualizar a tela de acionamento manual na IHM.

Figura 36 - Tela de acionamento manual.



Fonte: Autor (2023).

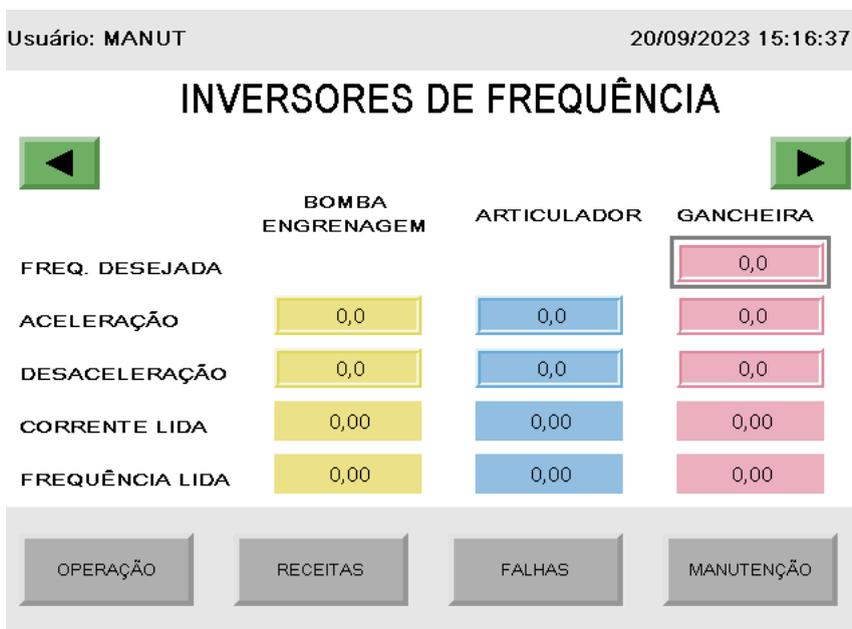
Outra tela de acesso restrito destinada aos técnicos de manutenção inclui os principais parâmetros dos inversores de frequência instalados na máquina. Nessa tela, os mantenedores têm acesso aos parâmetros relacionados à aceleração, desaceleração, bem como à visualização da corrente e frequência lidas.

Essa funcionalidade é crucial para que os técnicos de manutenção possam ajustar e monitorar especificamente os inversores de frequência durante as operações de manutenção, garantindo o correto funcionamento dos sistemas de controle da máquina.

Outro ponto importante de salientar nesta seção, é que no próprio software de criação das telas, FactoryTalk View, fornece ferramentas de segurança para entradas de valores inapropriados para as aplicações. Estes valores são ajustáveis e garantem a segurança do projeto. Adicionado a isso, foram criadas segurança no código do CLP, como limites mínimo, máximo e negativo, para assegurar valores apropriados para cada tag.

Na Figura 37 é possível visualizar a tela de inversores de frequência na IHM.

Figura 37 - Tela de inversores de frequência.



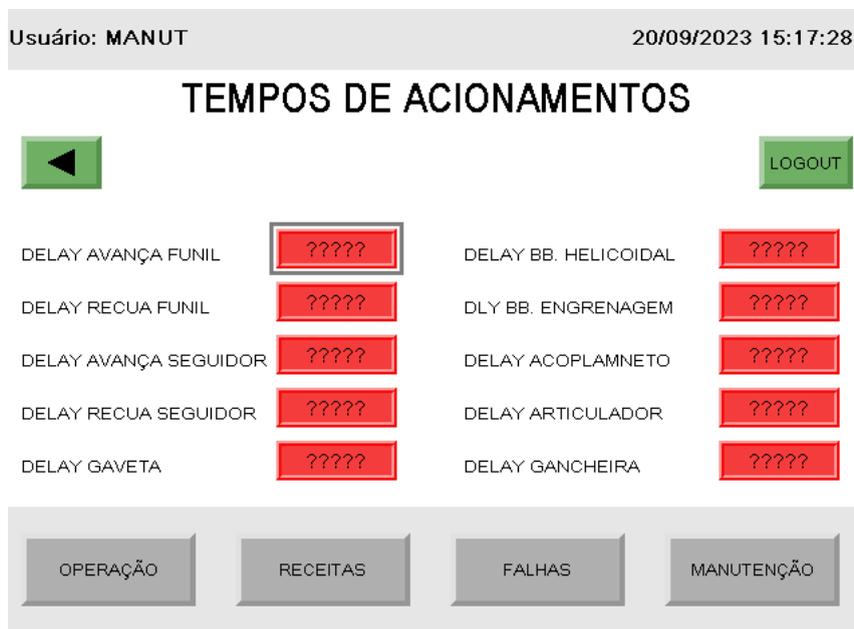
Fonte: Autor (2023).

4.3.6 Tela de Tempos de Acionamento

Após a conclusão da lógica de programação e a realização de extensos testes no software da máquina, a etapa que resta é ajustar os tempos de delay dos atuadores para que a máquina possa operar corretamente. Com esse objetivo em mente, foi desenvolvida a tela de "Tempos de Acionamento", destinada a facilitar e agilizar o processo de inicialização da máquina.

Nesta tela, é possível configurar todos os tempos de acionamento e desativação dos atuadores envolvidos na operação da máquina. Na Figura 38 é possível visualizar a tela de Tempos de Acionamentos na IHM.

Figura 38 - Tela de tempo de acionamento.



Fonte: Autor (2023).

4.4 Testes de software

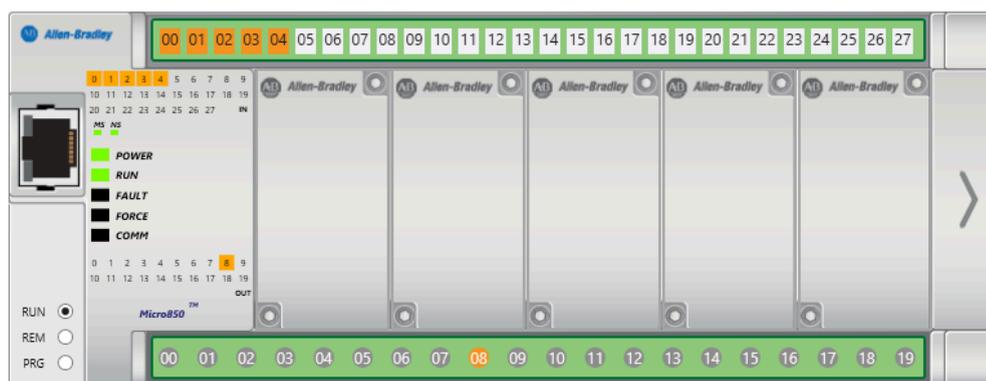
Conforme mencionado anteriormente, este trabalho apresenta uma proposta de *retrofit*, a qual deve ser validada para que possa ser aprovada e implementada futuramente pela empresa. A etapa de testes da lógica de programação da máquina foi conduzida utilizando o simulador Micro800, que é integrado ao próprio software utilizado para programar o código. Esse simulador permitiu uma análise repetida das nove etapas do código. Além disso, ofereceu a capacidade de conectar o simulador ao projeto da IHM.

Na Figura 39 é possível observar o simulador do Micro800 em funcionamento, o que proporcionou uma maneira eficaz de verificar e depurar a lógica do programa antes de implementá-lo na máquina real.

No caso do simulador para a IHM, o FactoryTalk View fornece a capacidade de executar o projeto desenvolvido, permitindo que os operadores e técnicos de manutenção testem e validem o funcionamento da IHM antes de sua implementação

na máquina real. Isso contribui para a garantia de que a interface do usuário seja adequada e que todas as funcionalidades estejam operando conforme o planejado.

Figura 39 - Simulador.



Fonte: Autor (2023).

Durante a etapa de testes, a lógica elaborada foi validada de forma plena, permitindo assim finalizar o projeto e disponibilizá-lo para a análise de viabilidade econômica por parte da empresa.

4.5 Investimentos do projeto

Para a realização do projeto em questão, o investimento previsto se concentrará principalmente na aquisição de dois inversores de frequência da marca Allen Bradley. Além disso, foram incluídos no projeto um pressostato digital da marca Telemecanique e 3 sensores magnéticos da marca Sick que serão retirados do estoque da empresa. Os demais equipamentos serão sobressalentes, aproveitados de outros equipamentos disponíveis. A tabela 6 apresenta os valores dos equipamentos adicionados na máquina com os respectivos preços:

Tabela 6 - Investimento previsto.

Tabela de custos para a implantação do retrofit				
Item	Descrição	Qtd	Valor UNit(R\$)	Valor Total(R\$)
1	Inversor de frequência PowerFlex 525, 1HP, Marca Allen Bradley	2	3.390,00	3.390,00
2	Inversor de frequência PowerFlex 525, 3HP, Marca Allen Bradley	1	3.400,00	3.400,00
3	Sensor magnético MZT8-03, Marca Sick	3	280,00	280,00
4	Pressostato digital modelo XMLR, Marca Telemecanique	1	1.950,00	1.950,00
			Total (R\$)	12.970,00

Fonte: Autor (2023).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou um projeto de *retrofit* de automação para uma máquina de embutir salsicha na empresa Seara Alimentos, unidade da JBS. O principal objetivo foi propor e validar uma melhoria tecnológica nesse equipamento, substituindo o controlador lógico programável existente por um equipamento mais moderno que se conecta a uma interface homem-máquina, além de atualizar drivers de controle dos motores.

Tal substituição foi proposta, pois permitirá aos operadores ajustar parâmetros de produção de forma autônoma, substituindo os ajustes mecânicos e elétricos que atualmente dependem da presença de um técnico de manutenção. Além disso, foram definidas algumas melhorias no sistema de controle da máquina que facilitaram o diagnóstico de falhas.

Os testes de funcionalidade, conduzidos por meio de simulações, demonstraram um funcionamento satisfatório e simplificaram significativamente a operação da máquina. Através da IHM, agora é possível acessar uma gama diversificada de parâmetros de operação, construção e manutenção da máquina, que anteriormente eram de difícil alcance.

Para comprovar a melhoria que o *retrofit* de automação da máquina trará para a empresa, foram criadas oito telas de controle e leitura com mais de 30 parâmetros de ajustes, todos acessíveis pela IHM.

Como desdobramento futuro deste trabalho, destaca-se a possibilidade de implantação desse novo sistema de automação para a linha de produção. Isso abriria possibilidade para observar e implementar diversos tipos de monitoramento de falhas, proporcionando uma melhoria contínua no processo produtivo da salsicha.

Em virtude dos fatos mencionados, este projeto de *retrofit* de automação representa um passo significativo em direção à modernização e otimização da máquina e dos processos de produção da indústria. A capacidade de ajustar parâmetros autonomamente e aprimorar o diagnóstico de falhas são vantagens cruciais que contribuirão para aumentar a eficiência.

REFERÊNCIAS

BONACORSO, Nelson G.; Noll, Valdir. **Automação Eletropneumática**. 12. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2013. E-book. Disponível em: <<http://www.univates.br/biblioteca>>. Acesso em: 01 maio 2023.

BRITO, Fábio. **Sensores e atuadores** Controle do movimento e processos contínuos. 1 ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2017. E-book. Disponível em: <<http://www.univates.br/biblioteca>>. Acesso em: 01 maio 2023.

CAPELLI, Alexandre. **Automação industrial**: Controle do movimento e processos contínuos. 3 ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2013. E-book. Disponível em: <<http://www.univates.br/biblioteca>>. Acesso em: 01 maio 2023.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2013. E-book. Disponível em: <<http://www.univates.br/biblioteca>>. Acesso em: 01 maio 2023.

CHEMIN, Beatris F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos**: planejamento, elaboração e apresentação. 3. ed. Lajeado: Univates, 2015. E-book. Disponível em: <<http://www.univates.br/biblioteca>>. Acesso em: 01 maio 2023.

DA SILVA, E. A. **Introdução as linguagem de programação para CLP**. 1ª. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2018. E-book. Disponível em: <<http://www.univates.br/biblioteca>>. Acesso em: 01 maio 2023.

FIALHO, Arivelto B. **Automatismo Pneumáticos**: Princípios básicos, dimensionamentos de componentes e aplicações práticas. 1. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2019. E-book. Disponível em: <<http://www.univates.br/biblioteca>>. Acesso em: 01 maio 2023.

FRADEN, J. Handbook of Modern Sensors: **Physics, Designs and Applications**. 3ª. ed. New York: Editora LLC, 2004. E-book.

FRANCHI, Claiton M. **Controle de processos industriais**: Princípios e aplicação. 1 ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2011.

FRANCHI, Claiton M. **Inversores de frequência**: Teoria e aplicação. 2 ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2013. E-book.

GOEKING, W. **Da Máquina a Vapor aos Softwares de Automação**. 52 ed., 2010. Disponível em: <https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/memoria_maio_10.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2019.

International Standard IEC 61131-3 In: Part 3: Programming languages. Switzerland, 2. ed., jan. 2003. Disponível em: <<https://iec.ch/homepage>>. Acesso em: 01 maio 2023.

JBS. **Marketing**. Disponível em: <<https://mediaroom.jbs.com.br/noticia/jbs-retoma-producao-na-fabrica-de-roca-sales-e-vai-apoiar-reconstrucao-de-posto-de-saude>>. Acesso em: 22 outubro 2023.

JOHN, K.; TIEGELKAMP, M. **IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems**. 1. ed. Berlin: Editora Springer-Verlag, 2001. E-book.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução normativa nº 66, de 05 de abril de 2000. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 05 abr. 2000, Seção 1, p. 9.

LAMB, Frank. **Automação industrial na prática**. 1. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2015. E-book.

LINK, William H. **Projeto de retrofit elétrico e de automação de um compressor de alta pressão para indústria de bebidas**. 1. ed. Lajeado: Univates, 2023. E-book. Disponível em: <<http://www.univates.br/biblioteca>>. Acesso em: 25 Outubro 2023.

MORAES, C. C. de.; CASTRUCCI, P. de L. **Engenharia de Automação Industrial**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. E-book. Disponível em: <<http://www.univates.br/biblioteca>>. Acesso em: 01 maio 2023.

PÓLIDO, Luciano. **Projeto e Implementação de sistema de automação para máquina de corte e solda de embalagens plásticas flexíveis**. 1. ed. Lajeado: Univates, 2019. E-book. Disponível em: <<http://www.univates.br/biblioteca>>. Acesso em: 01 maio 2023.

PRUDENTE, Francesco. **Automação Industrial PLC: Teoria e Aplicação**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora Ltda, 2011. E-book. Disponível em: <<http://www.univates.br/biblioteca>>. Acesso em: 01 maio 2023.

PRUDENTE, Francesco. **Automação Industrial Pneumática: Teoria e Aplicação**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora Ltda, 2013. E-book. Disponível em: <<http://www.univates.br/biblioteca>>. Acesso em: 01 maio 2023.

Rockwell Automation. **Marketing**. Disponível em: <www.rockwellautomation.com.br>. Acesso em: 01 maio 2023.

Schneider Electric. **Marketing**. Disponível em: <<https://www.se.com/br/pt/>>. Acesso em: 10 junho 2023.

SKOOG, D. A. et al. **Princípios de Análise Instrumental**. 5ª. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2002. E-book.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais**: Fundamentos e Aplicações. 3ª. ed. São Paulo: Editora Érica LTDA, 2007. E-book. Disponível em: <<http://www.univates.br/biblioteca>>. Acesso em: 01 maio 2023.

WEG. Motores Elétricos. Catálogos WEG. Jaraguá do Sul, nov. 2009.

WEG. **Retrofit: 4 exemplos de aplicação no Brasil**. 06 nov. 2020. Disponível em: <[71](https://www.weg.net/tomadas/blog/arquitetura/retrofit-4-exemplos-de-aplicacao-no-brasil/#:~:text=O%20retrofit%20%C3%A9%20uma%20t%C3%A9cnica,reform%20ou%20de%20uma%20restaura%C3%A7%C3%A3o.>>. Acesso em: 10 jun. 2023.</p></div><div data-bbox=)



UNIVATES

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09